

TRÓPICOS



Smithsonian
Tropical Research Institute

MAGAZINE OF THE SMITHSONIAN TROPICAL RESEARCH INSTITUTE
REVISTA DEL INSTITUTO SMITHSONIAN DE INVESTIGACIONES TROPICALES

COLOR & VISION
COLOR Y VISIÓN

Volume 4: Issue 1
Volumen 4: Edición 1

“...color is an autonomous and unstable circumstance, modified in real time and space in interaction with the viewer.

...color es una circunstancia autónoma e inestable, que se modifica en el tiempo y el espacio reales en interacción con el espectador. ”

- Carlos Cruz-Diez



Chromoestructura Smithsonian
Inaugurated in January 2018

Contemporary artist Carlos Cruz-Diez (Caracas, Venezuela, 1923 - Paris, France , 2019) lived and worked in Paris since 1960. In 2009 he founded the Articruz atelier in Panama City with his son Jorge. Cruz-Diez worked with architects, engineers and urban planners to integrate optical and kinetic art into urban spaces, inviting reflection and softening the often harsh experience of city living. As part of the renovation of STRI's Tupper Center, Cruz-Diez created a fence based on three pure colors: red, green and blue. In combination, they give rise to a wider range of color, nuanced according to the distance from the piece, the movement of the viewer and the point of view—inside or outside the grid.

Photo by | Foto por: Jorge Alemán, STRI

Cover art by | Ilustración de portada por: Paulette Guardia



Chromoestructura Smithsonian
Inaugurado en enero de 2018

El artista contemporáneo Carlos Cruz-Diez (Caracas, Venezuela, 1923 - París, Francia, 2019) vivió y trabajó en París desde 1960. En 2009 fundó el taller Articruz en la ciudad de Panamá con su hijo, Jorge. Cruz-Diez trabajó con arquitectos, ingenieros y urbanistas para integrar arte óptico y cinético en espacios urbanos, invitándonos a reflexionar y haciendo más amable la experiencia de la vida en la ciudad. Como parte de la renovación del Centro Tupper de STRI, Cruz-Diez creó una valla basada en tres colores puros: rojo, verde y azul. En combinación, dan luz a un rango de color más amplio, matizado según la distancia desde la pieza, el movimiento del espectador y el punto de vista dentro o fuera de la matriz.



Art and science on the same wavelength

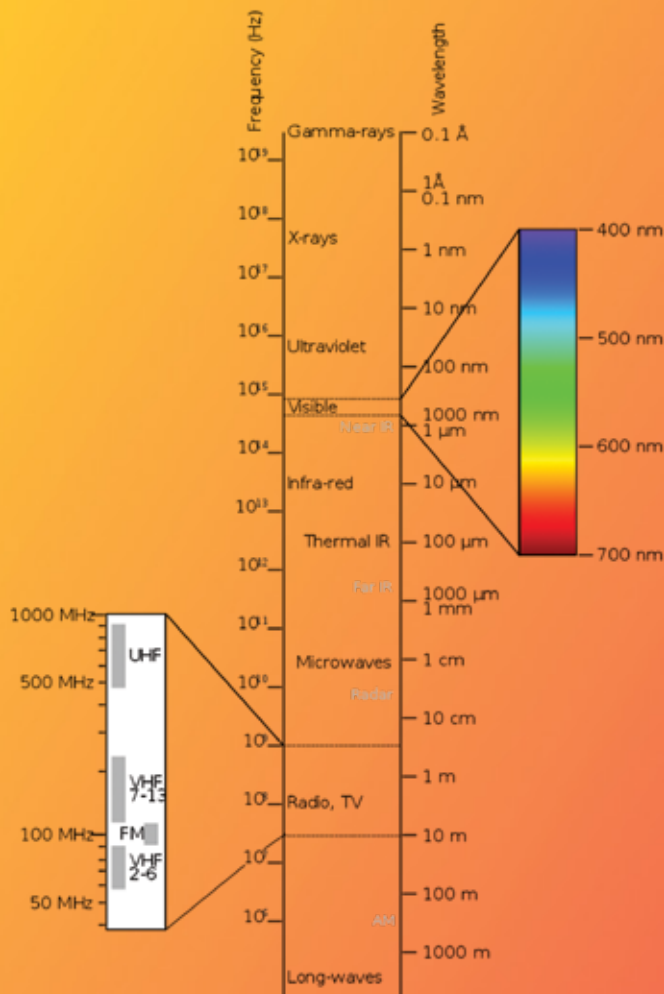
Our sun emits a broad spectrum of radiation. We humans only see light in wavelengths from 400 nanometers to about 750 nanometers—deep violet to deep red. We tend to assume that our view of the world is universal, but the surprising capabilities of other animals reveal whole new worlds. Biologists have been mistaken when we interpret patterns expressed by other organisms through our own filters.

This issue of *Tropicos* explores some of the intersections between tropical biology research and perception, color and vision. We were inspired by the new, kinetic work of art at our Panama headquarters, Chromoestructura Smithsonian, designed by Venezuelan artist, Carlos Cruz-Diez.

Arte y ciencia en la misma onda

Nuestro sol emite un amplio espectro de radiación. Los humanos solo vemos la luz en longitudes de onda de 400 nanómetros a unos 750 nanómetros, desde el color violeta profundo hasta el rojo intenso. Tendemos a asumir que nuestra visión del mundo es universal, pero las sorprendentes capacidades de otros animales revelan mundos completamente nuevos. Los biólogos se han equivocado cuando interpretamos patrones expresados por otros organismos a través de nuestros propios filtros.

Esta edición de *Trópicos* explora algunas de las intersecciones entre la investigación y la percepción, el color y la visión de la biología tropical. Nos inspiramos en la nueva obra de arte cinética en nuestra sede de Panamá, Chromoestructura Smithsonian, diseñada por el artista venezolano Carlos Cruz-Diez, en homenaje a su irremplazable talento.



Playing with Light

Prisms disrupt white light into a rainbow of color. When natural philosopher Isaac Newton purchased his first prism in 1666, people thought glass corrupted white light, creating color. Newton suspected otherwise. When he passed the rainbow back through a second prism, rather than more colorfully corrupt light, white light emerged.

Newton divided up the continuous color spectrum into seven colors: violet, indigo, blue, green, yellow, orange and red, because he regarded the number seven as holy: Babylonians divided weeks into seven days, a quarter of the time it took for the moon to move through its cycle, the Rig Veda says seven streams converge to create Soma, their moon deity.

Left: the electromagnetic spectrum showing the range of frequencies of electromagnetic radiation, their wavelengths and photon energies. Credit: Wikimedia

CONTENTS | CONTENIDO

5 Dresses and butterflies

Vestidos y mariposas

By | Por: Beth King

8 Ways of seeing

Formas de ver

By | Por: Beth King

11 Underground rainbow

Un arco iris subterráneo

By | Por: Sean Mattson, Aug. 2018

17 Mysteries of a golden beetle

Desentrañando los misterios del escarabajo dorado

By | Por: Sean Mattson, Aug. 2018

23 Red? or blue?

Rojo o azul?

By | Por: Beth King

31 How new species arise in the sea

Cómo surgen nuevas especies en el mar

By | Por: Beth King

35 Females in disguise

Hembras disfrazadas

By | Por: Sean Mattson, Aug. 2018

41 Mind-meld

Fusión de mentes

By | Por: Beth King

47 Milton Garcia's bird's-eye-view

La vista desde lo alto con Milton García

By | Por: Beth King

53 Plastic fish

Súper ojos de pez

By | Por: Beth King

59 The silence of the genes

El silencio de los genes

By | Por: Beth King

65 Guest column:

Columna del invitado:

Owen McMillan

71 Mosaic

Mosaico

75 Rewind

Rebobina

Jugando con la luz

Los prismas interrumpen la luz blanca en un arcoíris de color. Cuando el filósofo natural Isaac Newton compró su primer prisma en 1666, la gente pensaba que el vidrio corrompía la luz blanca, creando color. Newton sospechaba lo contrario. Cuando pasó el arco iris a través de un segundo prisma, en lugar de una luz más colorida y corrupta, emergió una luz blanca.

Newton dividió el espectro de colores continuo en siete colores: violeta, índigo, azul, verde, amarillo, naranja y rojo, porque consideraba que el número siete era sagrado: los babilonios dividían las semanas en siete días, una cuarta parte del tiempo que tomaba a la Luna moverse a través de su ciclo, el Rigveda dice que siete corrientes convergen para crear a Soma, su deidad lunar.

Izquierda: El espectro electromagnético muestra el rango de frecuencias de la radiación electromagnética, sus longitudes de onda y las energías de los fotones. Crédito: Wikimedia

TEAM | EQUIPO

Linette Dutari

Associate Director for Communications
Directora Asociada de Comunicaciones

Beth King

Communications manager
Gerente de comunicaciones
Writer and editor | Escritora y editora

Lina González

Design supervisor
Supervisora de diseño

Paulette Guardia

Graphic design specialist
Especialista en diseño gráfico
Edition designer | Diseñadora de la edición

Ana Endara

Videographer
Videógrafa
Filming, video editing | Filmación, edición de video

Sonia Tejada

Media relations
Relaciones con medios
Translations | Traducciones

Jorge Alemán

Digital content specialist
Especialista en contenido digital

Leila Nilipour

Copy writer
Escritora

Collaborators | Colaboradores

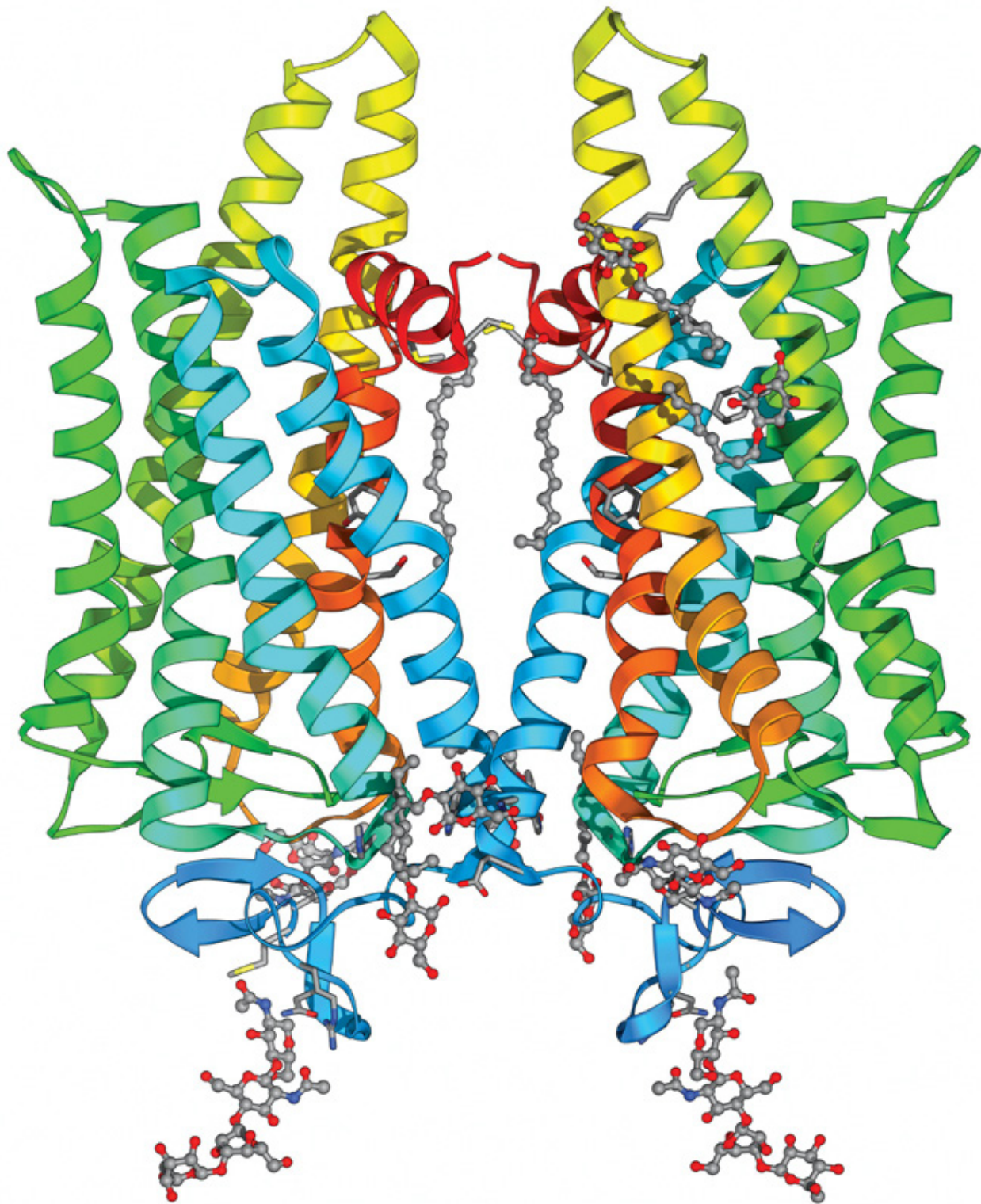
Sean Mattson

Writer and photographer | Escritor y fotógrafo

Irene Méndez Cruz

Guest Photographer | Fotógrafa invitada

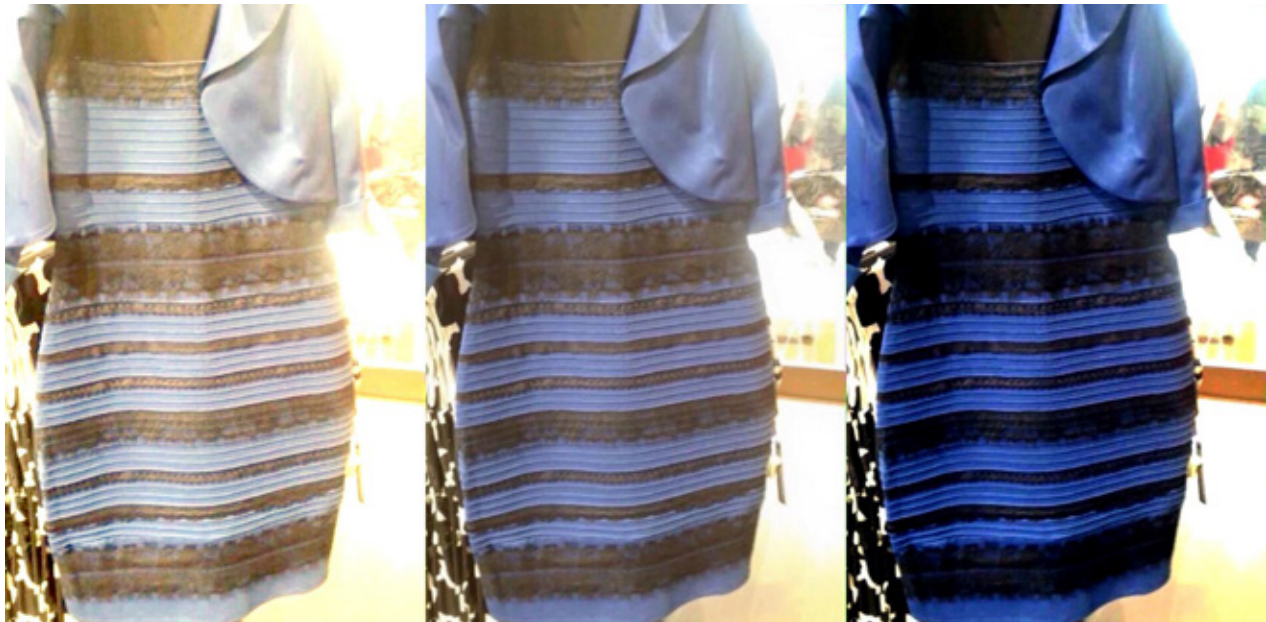
www.stri.si.edu



This molecule that looks like a butterfly is an opsin molecule. It is our light sensor—found in the retina at the back of our eyeballs. The antenna is the molecule called retinal that is embedded inside the opsin. Retinal picks up the light and reacts by twisting and forcing the opsin that surrounds it to change conformation. This change affects the opsin tip inside the cell and triggers a chain of chemical reactions that eventually sends a message to the optic nerve and the brain. | Esta es una molécula de opsina. La opsina es nuestro sensor de luz, que se encuentra en la retina, en la parte posterior de nuestros ojos. Una molécula llamada retinal, que está incrustada dentro de la molécula de la opsina actúa como una antena. Cuando detecta luz, se tuerce, obligando a la molécula opsina que la rodea a cambiar de forma. Este cambio afecta la colocación de la punta de la molécula de opsina y desencadena una cadena de reacciones químicas que eventualmente envían un mensaje a través del nervio óptico al cerebro.

Dresses and butterflies

Is the dress white and gold or blue and black? In 2015, this photo of a dress went viral. At the peak of its popularity the image got 14K views per second.



Original photo posted on: | Foto original en: swiked.tumblr.com

Commentators suggested that it caused an “existential crisis” regarding the nature of sight and reality. A study of the phenomenon in *Current Biology* reported that of 1,400 survey respondents, 57 percent saw a blue and black dress, 30 percent saw a white and gold dress, 11 percent saw blue and brown and 2 percent as something else. Another study reported that early risers saw white and gold, whereas night owls saw blue and black.

Sight is one of the most important senses in tropical forests and reefs, some of the most colorful ecosystems on the planet. From the lightless forest floor to the searing sunlit forest canopy; from shadowy ocean depths to shimmering shallows, huge variations in light environments set the stage for dramatic biological interactions. And from the simplest two-celled eyes of a jellyfish larva to the

Vestidos y mariposas

¿Es el vestido blanco y dorado o azul y negro? En el 2015, esta imagen de un vestido se volvió viral. En la cima de su popularidad, la imagen obtuvo 14K vistas por segundo.

Los comentaristas sugirieron que causó una “crisis existencial” con respecto a la naturaleza de la vista y la realidad. Un estudio del fenómeno en *Current Biology* informó que, de 1,400 encuestados, el 57 por ciento vio un vestido azul y negro, el 30 por ciento vio un vestido blanco y dorado, el 11 por ciento vio azul y marrón y el 2 por ciento como otra cosa. Otro estudio informó que los madrugadores vieron blanco y oro, mientras que los noctámbulos vieron azul y negro.

La vista es uno de los sentidos más importantes en los bosques tropicales y los arrecifes, algunos de los ecosistemas más coloridos del planeta. Desde el suelo del bosque sin luz hasta el ardiente dosel del bosque iluminado por el sol; Desde las oscuras profundidades del océano hasta las aguas poco profundas, las enormes variaciones en los ambientes de luz preparan el escenario para interacciones biológicas dramáticas. Y

complex, compound eyes of a butterfly, each creature has its own, idiosyncratic way of taking it all in.

Plants and animals put color to use as camouflage, disguising themselves to match the background and to confuse predators. At the other extreme, as shameless advertising agents, tropical plants paint themselves vermilion and violet to attract birds, bees and butterflies to pollinate their flowers, to eat their fruit and to carry their seeds far away. Animals strut their stuff—from fancy feathers to blinking lights—to attract mates, because to reproduce is to stay in the game. Genes coding pigments and color perception end up as part of instructions passed from generation to generation, conserving successful survival strategies.

But just like the dress, signals and the messages they represent depend on the abilities of the beholders to perceive them. Light from the sun contains the full color spectrum. Our sense of sight is a consequence of photons absorbed by the eye and interpreted by the brain. We learn what red is and what it means: is this mango ripe enough to eat?

Work at STRI is driven by both applied questions like how to make a better night vision scope, and very broad, basic questions about how the biodiverse species of the tropics arise and interact. We hope your own view of the world expands as a result of this sampler of projects and ideas. T

desde los ojos más simples de dos células de una larva de medusa hasta los complejos y compuestos ojos de una mariposa, cada criatura tiene su propia forma idiosincrásica de asimilarlo todo.

Las plantas y los animales usan el color para camuflarse, disfrazándose para emparejar el fondo y confundir a los depredadores. En el otro extremo, como agentes publicitarios desvergonzados, las plantas tropicales se pintan a sí mismas de colores bermellón y violeta para atraer a las aves, abejas y mariposas para polinizar sus flores, comer sus frutos y llevar lejos sus semillas. Los animales se lucen, desde lujosas plumas hasta luces parpadeantes, para atraer parejas, porque reproducirse es la única manera de permanecer en el juego. Los genes que codifican los pigmentos y la percepción del color terminan como parte de las instrucciones que se transmiten de generación en generación, conservando estrategias de supervivencia exitosas.

Pero al igual que la vestimenta, las señales y los mensajes que representan, dependen de la capacidad de los observadores para percibirlos. La luz del sol contiene todo el espectro de colores. Nuestro sentido de la vista es una consecuencia de los fotones absorbidos por el ojo e interpretados por el cerebro. Aprendemos qué es el rojo y qué significa: ¿está este mango lo suficientemente maduro como para comerlo?

El trabajo en STRI se basa en preguntas aplicadas, como por ejemplo, lograr un mejor alcance de la visión nocturna, y en preguntas muy amplias y básicas sobre cómo surgen e interactúan las especies biodiversas de los trópicos. Esperamos que su propia visión del mundo se expanda como resultado de esta muestra de proyectos e ideas. T

Ways of seeing

Humans

- Our sense of sight takes a long time to develop. At birth, babies are near-sighted and objects farther than 20-30 cm look blurry.
- Adults see wavelengths from about 370 to 730 nanometers.
- We have three color receptors and can distinguish about 10 million colors.
- 8 to 10 percent of males and 0.5 percent of all females are color-blind.
- Our brains fill in a lot of details in images, making them meaningful to us.

...and other Mammals

- Mammals evolved from ancestors that lost the green color receptor. When the dinosaurs walked the earth, evolving mammals avoided predators by hiding in burrows and foraging at night.
- Primates regained some green vision, which is useful to see red berries and fruit against a green background.
- Mouse retinas are specialized for low light; they have poor acuity but can detect moving objects.
- All marine mammals, the owl monkey and some rodents are monochromats. They only detect one frequency peak in the spectrum and therefore, their color vision is extremely limited.
- Animals with two color receptors can see about 10,000 color gradations. Most mammals, including the dog, ferret, and spotted hyena have two color receptors.
- A trichomat can see about 10,000,000 colors using three receptors. Examples: honey bees and humans.

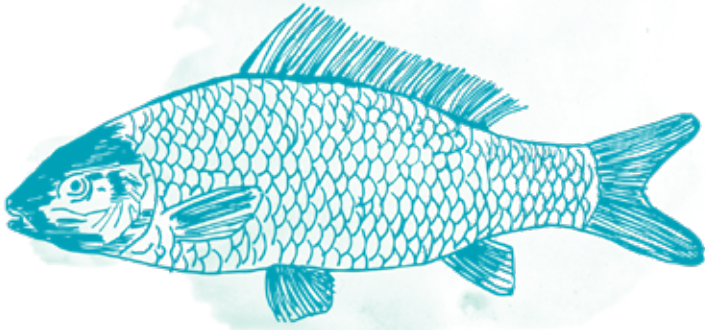
Formas de ver

Humanos

- Nuestro sentido de la vista tarda mucho tiempo en desarrollarse. Al nacer, los bebés son miopes y los objetos de más de 20-30 cm se ven borrosos.
- Los adultos ven longitudes de onda de aproximadamente 370 a 730 nanómetros.
- Tenemos tres receptores de color y podemos distinguir unos 10 millones de colores.
- 8 a 10 por ciento de los machos y 0.5 por ciento de todas las hembras son ciegas al color.
- Nuestros cerebros rellenan una gran cantidad de detalles en imágenes, lo que las hace significativas para nosotros.

...y otros mamíferos

- Los mamíferos evolucionaron a partir de ancestros que perdieron el receptor de color verde. Cuando los dinosaurios caminaban por la tierra, los mamíferos en evolución evitaban a los depredadores escondiéndose en madrigueras y alimentándose durante la noche.
- Los primates recuperaron algo de visión verde, que es útil para ver bayas rojas y frutos contra un fondo verde.
- Las retinas del ratón están especializadas para poca luz; Tienen poca agudeza, pero pueden detectar objetos en movimiento.
- Todos los mamíferos marinos, el mono búho y algunos roedores son monocromáticos. Solo detectan un pico de frecuencia en el espectro y, por lo tanto, su visión de color es extremadamente limitada.
- Los animales con receptores de dos colores pueden ver aproximadamente 10,000 gradaciones de colores. La mayoría de los mamíferos, incluido el perro, el hurón y la hiena manchada, tienen dos receptores de color.
- Un tricromático puede ver aproximadamente 10,000,000 de colores usando tres receptores. Ejemplos: las abejas melíferas y los humanos.



Fish

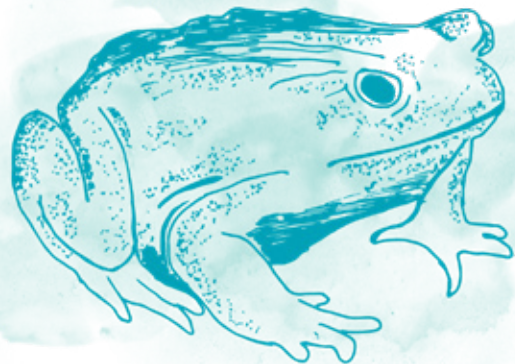
- Because fish eyes are often on opposite sides of their heads, they don't have binocular vision, and therefore can't perceive depth.
- Some shallow water fish eyes have four color receptors so they see in the green, red, blue, and ultraviolet parts of the spectrum.
- Some sharks and rays don't see color at all.
- Most open water predators don't see ultraviolet light because UV reflecting off of plankton would make their environment very confusing. Therefore, some of their prey species use ultraviolet light to signal to one another.

Amphibians

- Most amphibians begin their lives as tadpole swimming in water, and depending on the species, may spend some or most of the rest of their lives on land.
- Most are active at night, and therefore have adaptations for seeing in really low light.
- Cane toads have a wide field of view. They rely on the movement of prey to catch them. Then they use binocular vision to focus in on their prey.
- Amphibians usually have two different kinds of rod photoreceptors. They may be able to use rods, rather than cones, to perceive color at low light levels.
- Some salamanders can see ultraviolet light.

Peces

- Debido a que los ojos en los peces a menudo están en lados opuestos de sus cabezas, no tienen visión binocular y, por lo tanto, no pueden percibir muy bien el enfoque de profundidad.
- Algunos ojos en peces de aguas poco profundas tienen cuatro receptores de color para que vean las partes verde, roja, azul y ultravioleta del espectro.
- Algunos tiburones y rayas no ven ningún color.
- La mayoría de los depredadores de aguas abiertas no ven la luz ultravioleta porque los rayos UV reflejados en el plancton podrían hacer que su entorno sea muy confuso. Por lo tanto, algunas de sus especies de presas usan luz ultravioleta para señalizarse entre sí.



Anfibios

- La mayoría de los anfibios inician sus vidas como renacuajos nadando en el agua, y dependiendo de la especie, pueden pasar parte o la mayor parte del resto de sus vidas en la tierra.
- La mayoría son más activos durante la noche y, por lo tanto, tienen adaptaciones para ver con poca luz.
- Los sapos de la caña tienen un amplio campo de visión. Dependen del movimiento de las presas para atraparlos.
- Los anfibios generalmente tienen dos tipos distintos de fotorreceptores de barra. Pueden usar varillas, en lugar de conos, para percibir el color en niveles de luz bajos.
- Algunas salamandras pueden ver la luz ultravioleta.



Insects

- Have compound eyes, a very different way of solving the vision problem.
- Butterflies have excellent color vision. May have very complex retinas and three types of ommatidia—the units that make up their compound eyes.
- Many insect species can see ultraviolet light, useful as they look for pollen and nectar. Some *Heliconius* butterflies have two different UV opsins allowing them fine discrimination across the ultraviolet part of the spectrum.
- Bees have compound eyes made of thousands of pixels, but they can't see red (appears dark blue).

Birds

- Because most birds fly, they need to have sharp vision and the ability to focus quickly.
- The lenses of raptors prevent them from seeing UV, and that improves their visual acuity allowing them to hunt moving prey at high speed.
- Some birds of prey can see mid-sized prey up to 1.5 kilometers away.
- Can sleep with one eye open. **T**

Insectos

- Tienen ojos compuestos, una forma muy diferente de resolver el problema de la visión.
- Las mariposas tienen una excelente visión del color. Puede tener retinas muy complejas y tres tipos de ommatidio: las unidades que forman sus ojos compuestos.
- Muchas especies de insectos pueden ver la luz ultravioleta, útil cuando buscan polen y néctar. Algunas mariposas *Heliconius* tienen dos opsinas UV distintas que les permiten una discriminación fina en la parte ultravioleta del espectro.
- Las abejas tienen ojos compuestos de miles de píxeles, pero no pueden ver aves de color rojo (las ven de color azul oscuro).



Aves

- Debido a que la mayoría de las aves vuelan, necesitan tener una visión aguda y la capacidad de enfocar rápidamente.
- Las lentes de las aves rapaces evitan que vean los rayos UV, y eso mejora su agudeza visual permitiéndoles cazar presas en movimiento a alta velocidad.
- Algunas aves de presa pueden ver presas de tamaño medio hasta a 1.5 kilómetros de distancia.
- Pueden dormir con un ojo abierto. **T**



Underground rainbow

Un arco iris
subterráneo



One of the first things visitors to STRI's Barro Colorado Island research station learn is that the island was named for its red-colored clay — *barro colorado*, in Spanish. If it were up to STRI soil scientist Ben Turner the name would come with an asterisk.

"The majority of researchers who work in the forest on Barro Colorado Island assume — if they even think about it — that the soils are fairly uniform across the island," says Turner. "It's a widely held assumption. But it's completely wrong."

The island's red clay is a product of long-term weathering that left the soil rich in red hue-inducing iron oxides. While common in the Neotropics, these rusty soils — known as Oxisols in the USDA classification system — are only one of many types found on the 15 km-square island.

Brightly-colored tropical soils play a crucial role in which tree species grow where. Soils have often-overlooked impacts on entire ecosystems. STRI staff scientist Ben Turner refines the soil map for Barro Colorado Island to better explain why the hundreds of species in the region occur where they do.

The other soils cover an earthy spectrum from pinks and purples to greys, browns, and black. There is also a greenish clay, or *barro verde*, and black soils like those found in North American prairies, which really have no business occurring this far south.

The island's soils are a product of the complex geology of Central Panama, which rose from the ocean during millions of years of tectonic upheaval and joined the American continents in a narrow, bending arc of land. Basalts, limestones, other marine sediments, volcanic ash and organic material are just a few of the soil variations Turner and his team find in the 100-plus soil pits they dug in the Panama Canal Watershed.

The color, of course, is only one soil trait that Turner studies. He is mostly interested in the life-supporting properties that soil colors point to — fertility, water-holding capacity, organic content and pH, to name but a few — that affect virtually all the other things in the

Una de las primeras cosas que aprenden los visitantes de la estación de investigación de STRI en Isla Barro Colorado es que esta recibió su nombre por su arcilla de color rojo. Si fuera por el científico de suelos de STRI, Ben Turner, el nombre tendría un asterisco.

"La mayoría de los investigadores que trabajan en el bosque en Isla Barro Colorado asumen, si es que lo piensan, que los suelos son bastante uniformes en toda la isla", comentó Turner. "Es una suposición ampliamente aceptada. Pero está completamente mal".

La arcilla roja de la isla es un producto de la meteorización a largo plazo que dejó el suelo rico en óxidos de hierro inductores de matices rojos. Si bien es común en el Neotrópico, los suelos oxidados, conocidos como Oxisoles en el sistema de clasificación de Estados Unidos, son solo uno de los muchos tipos que se encuentran en esta isla de 15 km cuadrados.

Los otros cubren un espectro terrestre desde rosados y morados hasta grises, marrones y negros. También hay una arcilla verdosa, o barro verde, y suelos negros como los que se encuentran en las praderas de América del Norte, que realmente no tienen nada que ver tan al sur.

Los coloridos suelos tropicales, desempeñan un papel crucial en qué especie de árbol crece y dónde. Los suelos tienen impactos, a menudo desestimados en todo ecosistema. El científico de STRI, Ben Turner está perfeccionando el mapa de suelos de Isla Barro Colorado para explicar mejor por qué las cientos de especies en la región se encuentran allí.

Los suelos de la isla son producto de la compleja geología de Panamá central, que surgió del océano durante millones de años de agitación tectónica y se unió a los continentes americanos en un arco de tierra estrecho y curvado. Basaltos, calizas, sedimentos marinos, cenizas volcánicas y material orgánico son solo algunas de las variaciones de suelo que Turner y su equipo encuentran en los más de 100 pozos de tierra que cavaron en la Cuenca del Canal de Panamá.



Ben Turner cuts a vertical soil profile (back wall of pit), revealing distinct layers, or horizons, in the soil. Pits dug on other parts of Barro Colorado Island added black, pink and even green soils to the map—cues that dramatic geologic processes from volcanic eruptions to tectonic uplift of sea sediments contribute to soil formation. | Ben Turner corta una muestra vertical de suelo (pared posterior del pozo), revelando distintas capas en el suelo. Los pozos excavados en otras partes de Isla Barro Colorado agregaron al mapa suelos negros, rosados e incluso verdes, indicios de que los procesos geológicos dramáticos, desde erupciones volcánicas hasta el levantamiento tectónico de sedimentos marinos. Estos sucesos contribuyen a la formación del suelo.
Photo by | Foto por: Sean Mattson

forest that researchers on BCI study.

“I think of the soils as the foundation of the ecosystem, with effects that cascade throughout the food chain,” says Turner.

Soil properties influence which trees grow where and how healthy they are. The tree species composition of a forest has a direct impact on the animals that eat the trees’ leaves and fruits: insects, monkeys, birds, bats and rodents.

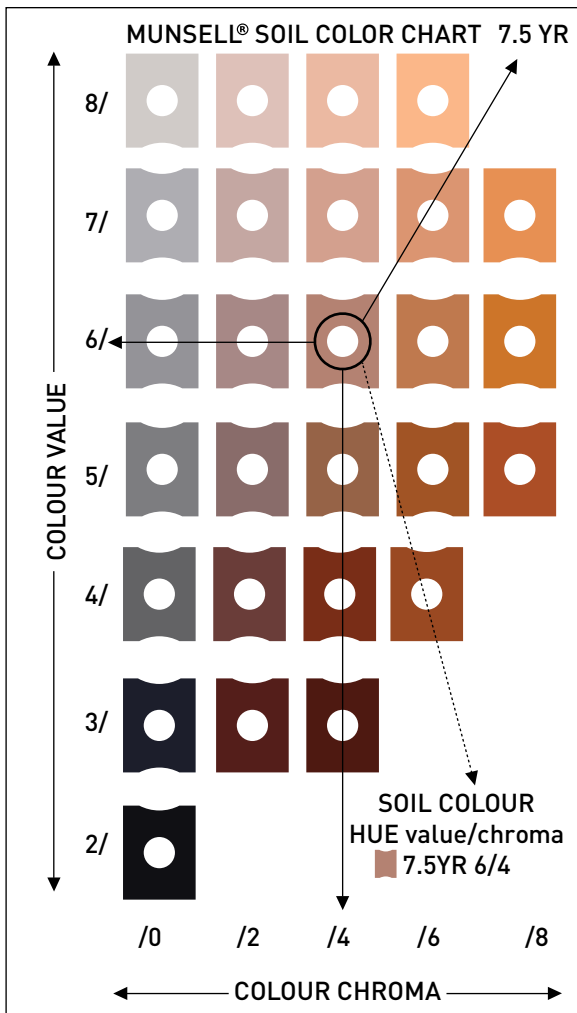
“The distributions of most tree species reflect either the soil they stand on, the amount of rainfall they receive, or both.” says Turner, referring to the hundreds of trees and woody shrubs that have been studied in the long-term forest dynamics study sites spanning Panama’s spectrum of soil types and its rainfall gradient from the Pacific side (1,800mm rain on average) to the Caribbean side with about 4,000 mm of rain. T

El color, por supuesto, es solo un rasgo del suelo que estudia Turner. Él está más interesado en las propiedades que sustentan la vida que los colores del suelo apuntan a: fertilidad, capacidad de retención de agua, contenido orgánico y pH, para nombrar unos pocos, que afectan virtualmente todas las otras cosas que los investigadores de BCI estudian en el bosque.

“Pienso en los suelos como la base del ecosistema, con efectos que caen en cascada a lo largo de la cadena alimentaria”, comentó Turner.

Las propiedades del suelo influyen en qué árboles crecen y cuán sanos están. La composición de las especies arbóreas de un bosque tiene un impacto directo en los animales que comen hojas y frutos de los árboles: insectos, monos, aves, murciélagos y roedores.

“Las distribuciones de la mayoría de las especies de árboles reflejan el suelo en el que se encuentran, la cantidad de lluvia que reciben, o ambos”, comentó Turner, refiriéndose a los cientos de árboles y arbustos leñosos que se han estudiado en los sitios de estudio de dinámica forestal a largo plazo que abarcan el espectro de tipos de suelo en Panamá y su gradiente de lluvia desde el lado del Pacífico (lluvia promedio de 1,800 mm) al lado Caribe con unos 4,000 mm de lluvia. T



Munsell soil color charts | Cuadro de Munsell

| Soil color Color de suelo | Presence of minerals and organic matter Presencia de minerales y materia orgánica |
|------------------------------|--|
| Yellow Amarillo | iron oxides óxidos de hierro |
| Red Amarillo | iron oxides óxidos de hierro |
| Green Amarillo | glauconite glauconita |
| Grey Amarillo | reduced iron oxides óxidos de hierro reducidos |
| Brown Amarillo | high organic matter materia orgánica alta |
| Black Amarillo | high organic matter, manganese materia orgánica alta, manganeso |
| White Amarillo | calcite (in arid regions) calcito (en regiones áridas) |



Photo by | Foto por: Sean Mattson



Photo by | Foto por: Jorge Alemán



Photo by | Foto por: Jorge Alemán

Like a catalog of paint chips, the Munsell Soil Color Chart provides a standard to describe soil colors at sites around the globe. Top: Staff scientist Ben Turner compares soil in the profile to soil colors on the chart. Lower left: Turner lab manager, Dayana Agudo, checks root samples and sets up tests for moisture content, organic content and soil nutrients...properties that determine which plants grow on different soils. | Al igual que un catálogo de colores de pintura, el sistema de Color de Munsell proporciona un estándar para describir los colores del suelo en sitios de todo el mundo. Arriba: el científico Ben Turner compara el suelo en el perfil con los colores del suelo en la tabla. Abajo, izq.: la administradora del laboratorio de Turner, Dayana Agudo, verifica las muestras de raíces y realiza pruebas de contenido de humedad, contenido orgánico y nutrientes del suelo ... propiedades que determinan qué plantas crecen en diferentes suelos.



Mysteries of a golden beetle

Misterios del
escarabajo dorado



Photos by | Fotos por: Irene Méndez Cruz

As the sun set over the cloud forest in western Panama, Lynette Strickland still hadn't found what she was looking for. Strickland spent all day exploring Fortuna, a mountainous area spanning the Continental Divide near the border of Panama and Costa Rica, in search of a glimmering golden beetle. But each time she flipped over a leaf or asked Smithsonian beetle expert Don Windsor 'Is that it?' the answer was 'No.'

With time running down on her field trip to one of Panama's most picturesque forest reserves, Strickland strayed a few meters from the group. "I finally bent down, turned over a leaf and there was this amazing drop of gold," recalls Strickland.

Mientras el sol se ponía sobre el bosque nublado en el oeste de Panamá, Lynette Strickland todavía no encontraba lo que buscaba. Pasó todo el día explorando Fortuna, una zona montañosa que abarca la División Continental, cerca de la frontera de Panamá y Costa Rica, en busca de un destello dorado. Pero cada vez que volteaba una hoja o preguntaba al experto en escarabajos del Smithsonian, Don Windsor, '¿Es este?' La respuesta era 'No'.

Su gira de campo a una de las reservas forestales más pintorescas de Panamá ya casi llegando a su fin, Strickland se alejó pocos metros del grupo. "Finalmente me incliné, volteé una hoja y apareció esta increíble gota de oro", recuerda.



WATCH THE VIDEO
VEA EL VIDEO

“Profile | Perfil Lynette Strickland”

On YouTube's Smithsonian Tropical Research Institute channel
En el canal de YouTube del “Smithsonian Tropical Research Institute”



Videos by | por: Ana Endara, STRI



“It's about discovering how color differences might be beneficial: giving them some sort of advantage when it comes to predation, selection, and/or living in different climates.

Se trata de descubrir cómo las diferencias de color pueden ser beneficiosas al darles algún tipo de ventaja cuando se trata de depredación, selección y/o vivir en climas distintos”

- Lynette Strickland

The tortoise beetle species, *Chelymorpha alternans*, is a multicolored mystery. Individuals come in five distinct color morphs, including the common metallic-striped gold form, a brick-red version and three different black and red patterns. They coexist in different proportions in Panama's tropical forests and no one knows why this species sports such a variety of paint jobs.

“When I first came to Panama years ago, I found two of these very differently colored beetles mating, and thought it was probably a fluke—sometimes animals mate with another species by mistake—although their offspring don't usually survive,” said staff scientist Annette Aiello. “Then Don told me that these were color morphs of the same species.”

“Yes, a number of scientists who've seen my Panama collection also couldn't believe they all belong to the same species,” Strickland said.

“Color is super fascinating,” Lynette said. “In this tortoise beetle species, it's about discovering how color differences might be beneficial by giving them some sort of advantage when it comes to predation, selection, and/or living in different climates.”



La especie de escarabajo tortuga, *Chelymorpha alternans*, es un misterio multicolor del reino animal. Los individuos se encuentran en cinco colores distintos, incluyendo la forma común de oro con rayas metálicas, una versión en color rojo ladrillo y tres patrones diferentes de negro y rojo. Coexisten en diferentes proporciones en los bosques tropicales de Panamá y nadie sabe por qué esta especie tiene tanta variedad de colores.

“Cuando vine a Panamá hace unos años, encontré dos de estos escarabajos apareándose, y pensé que probablemente era una casualidad; a veces los animales se aparean con otras especies por error, aunque sus descendientes no suelen sobrevivir”, comentó la científica Annette Aiello. “Entonces Don me comentó que estos eran morfos de color de la misma especie”.

“Sí, una cantidad de científicos que han visto mi colección de Panamá tampoco podían creer que todos pertenezcan a la misma especie”, comentó Strickland.

“El color es súper fascinante”, comentó Lynette. “En esta especie de escarabajo tortuga, se trata de descubrir cómo las diferencias de color pueden ser beneficiosas al darles algún tipo de ventaja cuando se trata de depredación, selección y/o vivir en climas distintos”.

Color figures in the three main rules of survival: eat, avoid getting eaten, and make babies. This tortoise beetle nibbles on vines in the morning glory family. But Strickland's first suite of experiments with the beetle morphs tackles the other two topics and has led to some fascinating results.

First, to look at predation, Strickland took the five beetle morphs and fed them to common predators — or at least she tried to. The taste-testers delivered the whole gamut of results from total predation to total abstinence.

Golden orb-weaving spiders ate (or wrapped in silk and saved for later) all beetles of all color morphs that Strickland threw into their webs. Picky praying mantises, on the other hand, only stabbed at the beetles with their forelegs (which act as taste buds) before rejecting them outright.

El color figura en las tres reglas principales de supervivencia: comer, evitar ser comido, y hacer bebés. Este escarabajo tortuga mordería vides en la familia de la Convolvulaceae o gloria de la mañana. Pero la primera serie de experimentos de Strickland con los morfotipos del escarabajo aborda los otros dos temas y ha dado lugar a algunos resultados fascinantes.

Primero, para observar la depredación, Strickland tomó los cinco morfotipos del escarabajo y los alimentó a depredadores comunes, o al menos lo intentó. Los comensales mostraron toda una gama de resultados desde la depredación total hasta la abstinencia total.

Las arañas de seda de oro o *nephila* comían (o envolvían en seda y guardaban para después) todos los escarabajos de todos los morfos de colores que Strickland arrojaba en sus redes. Por otro lado, las mantis religiosas, muy selectivas, solo apuñalaban a los escarabajos con sus patas delanteras (que actúan como papilas gustativas) antes de rechazarlas por completo.



WATCH THE VIDEO
VEA EL VIDEO

“Nephila VS Beetle | Nephila VS Escarabajo”

On YouTube's Smithsonian Tropical Research Institute channel

En el canal de YouTube del “Smithsonian Tropical Research Institute”



The most curious results came from colonies of the ant *Azteca chartifex*, known for their enormous, teardrop-shaped nests. Strickland built platforms at the bottom of nests where the defensive ants swarm over and attack any beetle invader. Since the ants are social creatures that make group decisions, they would initially take up to a couple of hours to decide what to do with the beetles. Ultimately, the golden ones would be thrown off the platform, the red-and-black phenotypes would be consumed, and the ones that were entirely red would be eaten the first three times they were given to the nest, but thrown off the next seven times they were presented with the beetles.

"This is pretty indicative of a learned aversion to something," says Strickland. "The point of having bright or conspicuous coloration is to, in theory, send a signal other predators: 'I'm distasteful, don't eat me.'"

Strickland and Windsor's experiments showed that females prefer to mate with other beetles of the same color, which appears to be counterintuitive when it comes to maintaining color variation. They can, however, mate with any color morph (called phenotypes), confirming that the beetles are, in fact, a single species — at least for now.

Strickland's genetic research shows that color in these beetles is a very simply inherited trait. The color-determining loci—specific pieces of DNA within the chromosome—require only minor differences to produce the drastic variation in color.

Her future genetic work will delve deeper into the differences between each color morph to determine if they are on paths to becoming individual species. And chemical analyses will determine if the morphs have different toxins, which may explain the selective eating behavior of the *A. chartifex* ants.

"Understanding how different factors come together to maintain diversity is beautiful," says Strickland. "Saying that a species does better the more diverse it is, is a really cool idea." T



Los resultados más curiosos vinieron de las colonias de la hormiga *Azteca chartifex*, conocidas por sus enormes nidos en forma de lágrima. Strickland construyó plataformas en el fondo de los nidos donde las hormigas defensivas pululan y atacan a cualquier escarabajo invasor. Dado que las hormigas son criaturas sociales que toman decisiones grupales, inicialmente tomaban un par de horas para decidir qué hacer con los escarabajos. Al final, los dorados serían arrojados fuera de la plataforma, los fenotipos rojo y negro se consumirían, y los que eran completamente rojos se comerían las primeras tres veces que se les brindarían, pero los descartarían en las siguientes siete veces se les presentaron los escarabajos.

"Esto es bastante indicativo de una aversión aprendida a algo", comentó Strickland. "El punto de tener una coloración brillante o conspicua es, en teoría, enviar una señal a otros depredadores: 'Soy desagradable, no me comas.'"

Los experimentos de Strickland y Windsor mostraron que las hembras prefieren aparearse con otros escarabajos del mismo color, lo que parece contradictorio cuando se trata de mantener la variación de color. Sin embargo, pueden aparearse con cualquier morfismo de color (llamados fenotipos), lo que confirma que los escarabajos son, de hecho, una sola especie, al menos por ahora.

La investigación genética de Strickland muestra que el color en estos escarabajos es un rasgo heredado muy simple. Los loci que determinan el color, pedazos específicos de ADN dentro del cromosoma, solo requieren pequeñas diferencias para producir la variación drástica en el color.

Su trabajo genético futuro profundizará en las diferencias entre cada morfismo de color para determinar si están en vías de convertirse en especies individuales. Y los análisis químicos determinarán si los morfos tienen diferentes toxinas, lo que puede explicar el comportamiento de alimentación selectivo de las hormigas *A. chartifex*.

"Entender cómo se combinan los diferentes factores para mantener la diversidad es hermoso", comentó Strickland. "Decir que a una especie le va mejor cuanto más diversa es, es una idea realmente genial". T



WATCH THE VIDEO

VEA EL VIDEO

“Why so many colors? | ¿Por qué tantos colores?”

On YouTube’s Smithsonian Tropical Research Institute channel

En el canal de YouTube del “Smithsonian Tropical Research Institute”



At a seminar, researchers talked about the synchronicities that foreshadowed their work on certain topics.

“My dad’s black, my mom’s hispanic, from Mexico. I grew up in Texas, and this is my sister,” Lynette said, pulling up a photo on her phone. Her sister has straight, blond hair. “People can’t believe it. I never really thought about that as one of the reasons I’m so interested in the genetics of different colored beetles, but it makes sense.”

Racial groups that evolved under searing sun still have genes for melanin—a natural sunscreen, whereas peoples that evolved in colder, darker places on the planet don’t make as much melanin, so they’re whiter.

En un seminario, los investigadores hablaron sobre las sincronicidades que en ciertos temas que parecían presagiar su trabajo.

“Mi papá es negro, mi madre hispana, de Méjico. Crecí en Texas, y esta es mi hermana”, comentó Lynette, mostrando una foto en su teléfono. Su hermana tiene el cabello rubio y lacio. “La gente no puede creerlo. Nunca pensé en eso como una de las razones por las que estoy tan interesada en la genética de escarabajos de diferentes colores, pero tiene sentido”.

Los grupos raciales que evolucionaron bajo el sol abrasador aún tienen genes para la melanina, un protector solar natural, mientras que las personas que evolucionaron en lugares más fríos y oscuros del planeta no producen tanta melanina, por lo que su piel es blanca.





Red? Or blue?

¿Rojo o azul?



Oophaga pumilio by: | Por: Justin Yeager

Nature began to make arrangements for her PhD project 10,000 years ago at the end of the last ice age.

In North America, massive ice fields receded as the world warmed, their runoff depositing great, silty deltas like those underlying New Orleans, where Yusan began her doctorate in Corrine Richards-Zawacki's lab at Tulane University. Further upstream, the Allegheny and Monongahela Rivers cut out steep-walled valleys and dissected the Appalachian Plateau. At the two rivers' confluence lies the University of Pittsburgh, where their entire lab moved in 2015.

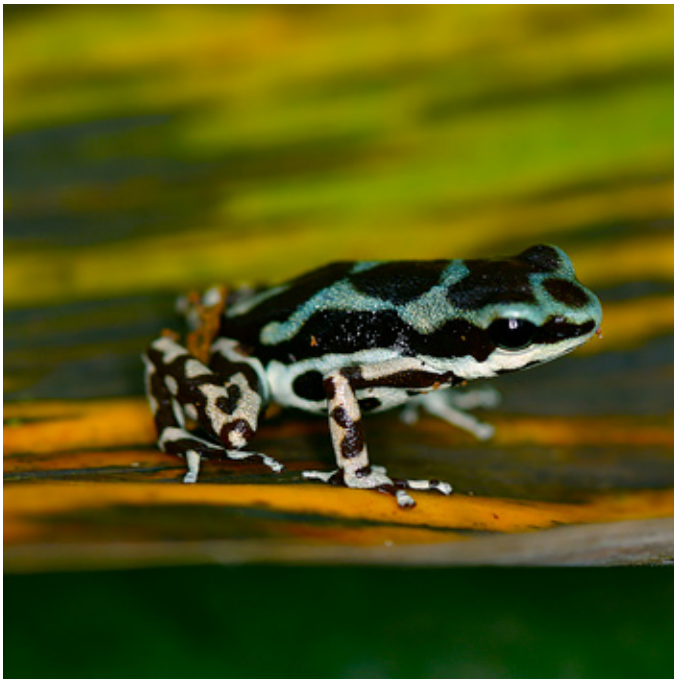
Far, far to the South, the same glacial meltwater swelled the volume of tropical oceans. Salty waves slowly flooded the low continental shelf extending from Central America out into the Caribbean, creating azure, island-dotted bays.

As sea level rises, isolated populations of the strawberry poison dart frog (*Oophaga pumilio*) evolved and diversified from the ancestral "blue jeans" color pattern. Today, islands and peninsulas in Panama's Bocas del Toro province are inhabited by differently-colored frogs. It is Yusan's passion to find out how these dramatic color differences arose, how they are maintained, and to predict how new species might come to be.

"This is tricky," says Yusan, "because we don't even know whether the factors that spurred the initial differences are still around. So many factors can potentially influence color evolution—predation risk, mate choice, competition, available food sources, parasites, or even just random changes in different populations—we have to sort all of this out if we want to understand what gives rise and maintains the color differences, and the potential for them to continue to evolve."

On the eastern shore of Almirante Bay, both male and female frogs have bright red torsos and blue legs. Further south on Aguacate Peninsula, the frogs are all blue. In between the two populations where the two colors meet near Dolphin Bay, frogs sport either red, blue, or intermediate color patterns.

As their name suggests, the strawberry poison dart frogs are poisonous. They acquire toxins from their diet and sequester the chemicals in their skin. Their bright coloration advertises their toxicity and warns potential predators not to eat them. One of the easiest ways to explain why red frogs live on one island and blue frogs on another would be that predators on each island tend to avoid frogs of opposite color.



Oophaga pumilio by: | Por: Justin Yeager

Many researchers, including some of Yusan's lab mates, put out differently colored clay frog models in the forests of different islands to ask whether the local color is best at deterring predators. However, like most things in life, the story is not that simple. Their predators – birds, snakes, spiders – rarely attack the clay models, and to the extent that they did, weren't strongly influenced by their color.

"If predation couldn't fully explain why the populations of frogs on different island have different color patterns, maybe it is sex—sexual selection, that explains what we're seeing," says Yusan.

Typically, females chose males that they consider sexier, and males fight among themselves to gain access to females. Let's say females prefer to mate with red males. This will lead to more red babies. Could their choices be driving evolution like some kind of millennial fashion show: red is in on some islands and out on others?

In her first set of experiments, Yusan looked at color preference of females across the red-only population on Almirante, the blue-only population on Aguacate Peninsula and the mixed population with red, blue and intermediate individuals at Dolphin Bay. She predicted that females would prefer males exhibiting their own coloration.

"If red females mate more with red males and blue females mate more with blue males, it'll keep the red frogs and the blue frogs separate from each other. Over time the two groups accumulate more differences – this could

La naturaleza comenzó a hacer arreglos para su proyecto de doctorado hace 10.000 años al final de la última era glacial. En América del Norte, los enormes campos de hielo retrocedieron a medida que el mundo se calentaba, su escorrentía depositaba grandes deltas limosos como los de Nueva Orleans, donde Yusan inició su doctorado en el laboratorio de Corrine Richards-Zawacki en la Universidad de Tulane. Más al norte, los ríos Allegheny y Monongahela recortan los valles de paredes escarpadas y diseccionan la meseta de los Apalaches. En la confluencia de los dos ríos se encuentra la Universidad de Pittsburgh, donde todo su laboratorio se mudó en el 2015.

Lejos, muy al sur, las mismas aguas producto del deshielo glacial aumentaron el volumen de los océanos tropicales. Las olas saladas inundaron lentamente la baja plataforma continental que se extendía desde América Central hacia el Caribe, creando bahías poco profundas, azules y salpicadas de islas.

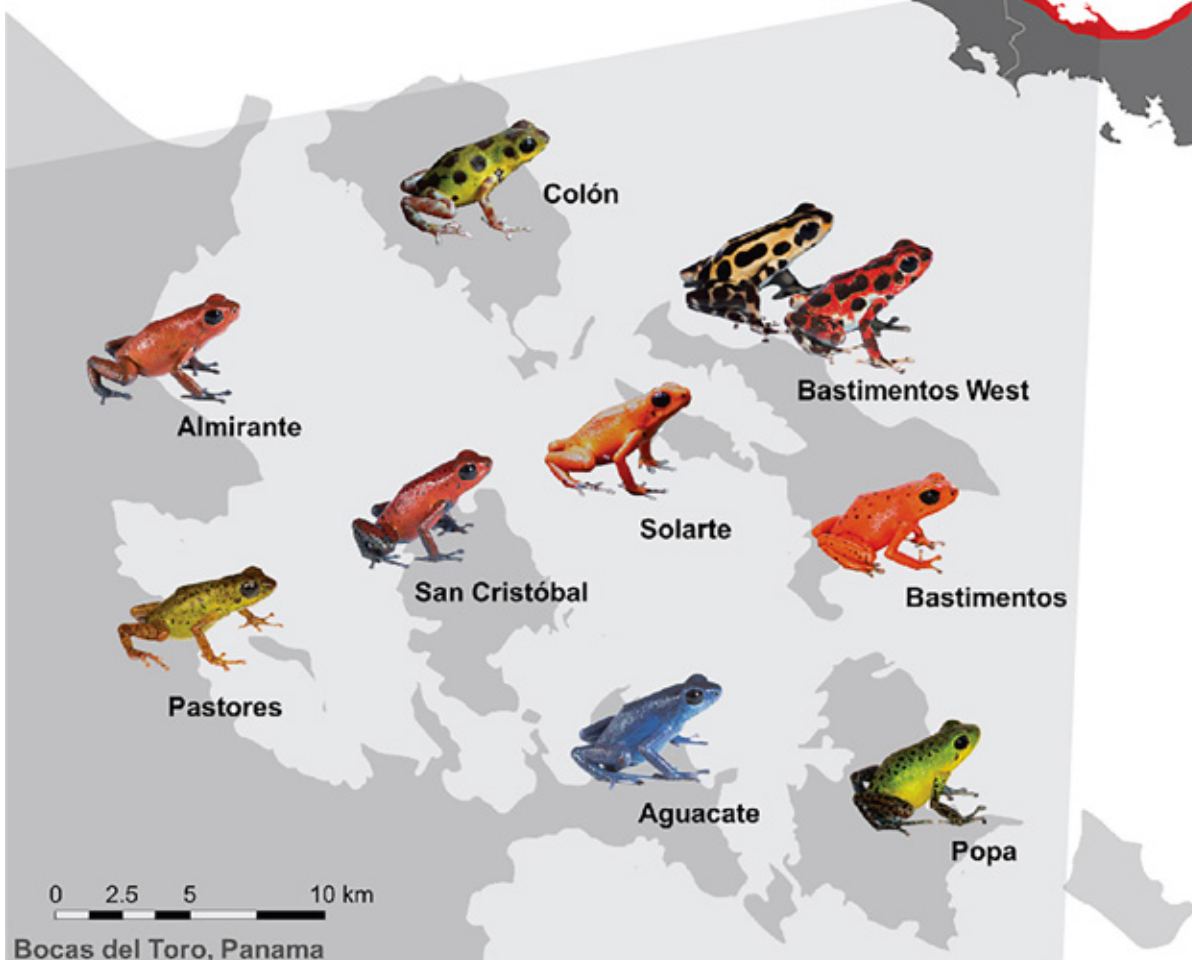
A medida que aumenta el nivel del mar, las poblaciones aisladas de la rana flecha roja y azul (*Oophaga pumilio*) evolucionan y se diversifican a partir del patrón de color ancestral "de pantaloncitos azul". Hoy en día, las islas y las penínsulas de la provincia panameña de Bocas del Toro están habitadas por ranas de diferentes colores. La pasión de Yusan es investigar cómo surgieron estas dramáticas diferencias de color, cómo se mantienen y extenderlas al futuro para predecir cómo podrían llegar a ser las nuevas especies.

"Esto es complicado", comentó Yusan, "porque ni siquiera sabemos si todavía existen los factores que estimularon las diferencias iniciales". Hay muchos factores que pueden influir en la evolución del color -el riesgo de depredación, la elección de pareja, la competencia, fuentes de alimentos disponibles, parásitos o incluso cambios aleatorios en diferentes poblaciones- tenemos que resolver todo esto si queremos entender qué da lugar y qué se mantiene. las diferencias de color y el potencial para que sigan evolucionando".

En la costa este de la Bahía de Almirante, tanto las ranas macho como las hembras tienen torsos rojos brillantes y patas azules. Más al sur, en la Península de Aguacate, las ranas son todas azules. Entre las dos poblaciones donde los dos colores se encuentran cerca de Dolphin Bay, las ranas son rojas, azules o de colores intermedios.

“So many factors potentially influence color evolution—predation risk, mate choice, competition, diet, parasites—we have to sort all of this out if we want to understand what gives rise to new species.”

- Yusan Yang



“Hay muchos factores que pueden influir en la evolución del color—el riesgo de depredación, la elección de pareja, la competencia, fuentes de alimentos disponibles, parásitos o incluso cambios aleatorios en diferentes poblaciones—tenemos que resolver todo esto si queremos entender qué da lugar y qué se mantiene las diferencias de color y el potencial para que sigan evolucionando.”

- Yusan Yang

potentially separate them into two species,” says Yusan.

Yusan gave female frogs choices between a red male, a blue male or an intermediate-colored male. Red females from Almirante got off on red males. Blue females from the Aguacate Peninsula picked blue males. And all of the females from Dolphin Bay preferred red males, even if they themselves are not red.

But male frogs defend territories. What if males of one color type weren't even letting males of another color get close to the females?

After devising a frog fashion show runway, where a robo-frog could strut its stuff, Yusan discovered that males on an all-red frog island were more likely to attack red frogs than blue frogs “Maybe they didn't even recognize the blue frogs as competitors,” and vice versa. However, males in areas where their rivals were naturally of both colorations, didn't seem to be biased, attacking males of all colors that stumbled into their territory.

“So, we think that male-male aggression probably doesn't tip the balance toward one color or another in the mixed population,” says Yusan, who is now finishing up her Ph.D. “This is the most challenging puzzle you can imagine! When several forces are at work, you get this incredible diversity within a single species. We could be seeing new species forming or we may just be seeing the remains of something that happened in the past, but either way it tells us more about how evolution works.” **T**

Como su nombre lo sugiere, las ranas flecha roja y azul son venenosas. Adquieren toxinas de su dieta y secuestran los químicos en su piel. Su coloración brillante anuncia su toxicidad y advierte a los depredadores potenciales que no se las coman. Una de las maneras más fáciles de explicar por qué las ranas rojas viven en una isla y las ranas azules en otra es que los depredadores en las islas tienden a evitar las ranas de diferentes colores.

Muchos investigadores, incluidos algunos de los compañeros de laboratorio de Yusan, ponen modelos de ranas de arcilla de distintos colores en los bosques de diferentes islas para preguntar si el color local es el mejor para disuadir a los depredadores. Sin embargo, como la mayoría de las cosas en la vida, la historia no es tan simple. Sus depredadores, aves, serpientes y arañas, rara vez atacan a los modelos de arcilla, y en la medida en que lo hicieron, no fueron fuertemente influenciados por su color.

“Si la depredación no pudiera explicar realmente por qué las poblaciones de ranas en diferentes islas tienen patrones de color diferentes, tal vez sea el sexo, la selección sexual, eso explica lo que estamos viendo”, comentó Yusan.

Típicamente, las hembras eligen a los machos que consideran más atractivos y los machos luchan entre sí para obtener acceso a las hembras. Digamos que las hembras prefieren aparearse con machos rojos. Esto llevará a más bebés rojos. ¿Podrían sus elecciones conducir la evolución como una especie de desfile de moda millennial: el rojo está de moda en algunas islas y en otras no?

En su primer conjunto de experimentos, Yusan observó la preferencia de color de las hembras en toda la población de ranas rojas en Almirante, la población de ranas azules en la Península de Aguacate, y la población mixta con individuos rojos, azules e intermedios en Dolphin Bay. Yusan predijo que las hembras preferirían que los machos exhibieran su propia coloración.

“Si las hembras rojas se aparean más con los machos rojos y las hembras azules se aparean más con los machos azules, mantendrá las ranas rojas y las ranas azules separadas una de la otra. Con el tiempo, los dos grupos acumulan más diferencias; esto podría separarlos potencialmente en dos especies”, comentó Yusan.

Yusan dio oportunidad a las ranas hembras para elegir entre un macho rojo, un macho azul o un macho de color intermedio. Las hembras rojas de Almirante se quedaron con los machos rojos. Las hembras azules de la Península de Aguacate escogieron a machos azules. Y todas las



Poison dart frogs above and left by Brian Gratwicke. Blue poison dart by Justin Yeager. | Ranas flecha arriba e izquierda por Brian Gratwicke. Rana flecha azul por Justin Yeager.



Above | Arriba: Yusan Yang. Photo by | Foto por: Sean Mattson. Below: Poison dart frog | Debajo: Rana flecha. Photo by | Foto por: Brian Gratwicke

Yang, Y., Richards-Zawacki, C.L., Devar, A., Dugas, M.B. 2016. Poison frog color morphs express assortative mate preferences in allopatry but not sympatry. *Evolution*. Doi: 10.1111/evo.13079

Yang, Y., Dugas, M.B., Sudekum, H.J., Murphy, S.N. and Richards-Zawacki, C.L. 2018. Male-male aggression is unlikely to stabilize a poison frog polymorphism. *Journal of Evolutionary Biology*. Doi:10.1111/jeb.13243

hembras de Dolphin Bay preferían a los machos rojos, incluso si ellas mismas no eran rojas.

Pero las ranas macho defienden territorios. ¿Qué sucede si los machos de un tipo de color ni siquiera permiten que los machos de otro color se acerquen a las hembras?

Después de idear una pasarela de moda de ranas, donde una rana robótica podría lucirse, Yusan descubrió que los machos en toda la isla de ranas rojas tenían más probabilidades de atacar a las ranas rojas que a las ranas azules "Tal vez ni siquiera reconocieron a las ranas azules como competidores," y viceversa. Sin embargo, los machos en áreas donde sus rivales eran naturalmente de ambas coloraciones, no parecían estar sesgados, atacando a los machos de todos los colores que se aparecían en su territorio por igual.

"Entonces, creemos que la agresión macho-macho probablemente no incline la balanza hacia un color u otro en la población mixta", comentó Yusan, quien ahora está terminando su Ph.D. "¿Este es el rompecabezas más desafiante que puedas imaginar! Cuando varias fuerzas están en acción, se obtiene esta increíble diversidad dentro de una sola especie. Podríamos estar viendo nuevas especies formándose o simplemente estar viendo los restos de algo que sucedió en el pasado, pero de cualquier manera nos comentó algo acerca de cómo funciona la evolución". T

“If predation couldn’t really explain why the populations of frogs on different islands have differently colored skin, maybe it is sex—sexual selection—that explains what we’re seeing.”

- Yusan Yang

“Si la depredación no pudiera explicar realmente por qué las poblaciones de ranas en diferentes islas tienen patrones de color diferentes, tal vez sea el sexo, la selección sexual, eso explica lo que estamos viendo.”

- Yusan Yang

 **WATCH THE VIDEO**
VEA EL VIDEO

“Get out of my space | Sal de mi espacio”

On YouTube’s Smithsonian Tropical Research Institute channel

En el canal de YouTube del “Smithsonian Tropical Research Institute”



Video by | por: Ana Endara, STRI



How new species arise in the sea

Cómo surgen nuevas especies en el mar

Two yellowbelly hamlets (*Hypoplectrus aberrans*) spawning in Dominica. Note that the tiny eggs are visible in front of the head of the upper fish. | Dos hamlets vientre amarillo (*Hypoplectrus aberrans*) desovando en Dominica. Note que los pequeños huevos son visibles en frente de la cabeza del pez que está en la parte superior.

Credit | Crédito: Carlos and Allison Estapé carlosestape.photoshelter.com

For a new species to evolve, two things are essential: a characteristic such as a color, unique to one species and a mating preference for this color. For example, individuals from a blue fish species prefer blue mates and individuals from a red species prefer red mates. If the two species interbreed, the process of sexual recombination is expected to destroy the coupling between color and mate preferences resulting in red individuals with a preference for blue mates and vice versa. This is one of the reasons why it has been thought for a long time that new species can only evolve in absolute isolation, without interbreeding.

However, the dynamics of this process depend on the exact number and location of genes underlying species characteristics and mate preferences, the strength of natural selection acting on these genes and the amount of interbreeding between species. In a new study, Oscar Puebla, professor at GEOMAR and research associate at the Smithsonian Tropical Research Institute, and colleagues found that natural selection can couple the evolution of genes for color pattern and mate preferences when species still interbreed.

“To address this question, our first challenge was to identify an animal group in which species still interbreed and in which the mechanisms underlying reproductive isolation are well understood,” Puebla said.

The hamlets, a group of closely related fish species found on reefs across the Caribbean, are genetically very similar. The main difference between species is color pattern, and it is mate preference for different color patterns that keeps the species separate.

A second difficulty consists in identifying the genes that underlie species differences and mate preferences. The authors of this study sequenced the entire genome of the hamlets and then asked how the genome differed in each of 110 individuals from three species found together on Caribbean reefs.

“This powerful data set allowed us to identify four narrow regions of the genome that are highly and consistently differentiated among species against a backdrop of almost no genetic differentiation in the rest of the genome,” said co-author Kosmas Hench, doctoral student at GEOMAR. These four intervals include genes involved with vision and color pattern.

The data also show that vision and color pattern genes remain coupled despite the fact that they are located

Para que una nueva especie evolucione, dos cosas son esenciales: una característica como un color, única para una especie y una preferencia de apareamiento para ese color. Por ejemplo, los individuos de una especie de pez azul prefieren parejas azules y los individuos de una especie roja prefieren parejas rojas. Si las dos especies se entrecruzan, se espera que el proceso de recombinación sexual destruya el acoplamiento entre el color y las preferencias de pareja, dando como resultado individuos rojos con una preferencia por parejas azules y viceversa. Esta es una de las razones por las que se ha pensado durante mucho tiempo que las nuevas especies solo pueden evolucionar en aislamiento absoluto, sin mestizaje.

Sin embargo, la dinámica de este proceso depende del número exacto y la ubicación de los genes que subyacen en las características de las especies y las preferencias de la pareja, la fuerza de la selección natural que actúa sobre estos genes y la cantidad de entrecruzamiento entre las especies. En un reciente estudio, Oscar Puebla, profesor de GEOMAR e investigador asociado del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales y sus colegas descubrieron que la selección natural puede acoplar la evolución de los genes para el patrón de color y las preferencias de pareja cuando las especies aún se cruzan.

“Para abordar esta interrogante, nuestro primer desafío fue identificar un grupo de animales en el que las especies aún se cruzan y en el que se entiendan bien los mecanismos que subyacen al aislamiento reproductivo”, comentó Puebla.

Los hamlets, un grupo de especies de peces estrechamente relacionadas que se encuentran en los arrecifes de todo el Caribe, son genéticamente muy similares. La principal diferencia entre las especies es el patrón de color, y es la preferencia de pareja por los diferentes patrones de color que mantienen a las especies separadas.

Una segunda dificultad consiste en identificar los genes que subyacen a las diferencias de especies y las preferencias de pareja. Los autores de este estudio secuenciaron el genoma completo de los hamlets y luego preguntaron cómo difería el genoma en cada uno de los 110 individuos de tres especies que se encontraron juntos en los arrecifes del Caribe.

“Este poderoso conjunto de datos nos permitió



Yellowbelly hamlets | Un hamlet vientre amarillo (*Hypoplectrus aberrans*). Credit | Crédito: Carlos and Allison Estapé carlosestape.photoshelter.com

on three different chromosomes and that species still interbreed. Such a coupling was previously reported when sets of genes are very close to each other on a chromosome, in which case they are protected from sexual recombination, but not when they are on different chromosomes. By capturing the very earliest stages of speciation in hamlets, the team shows how selection can contribute to the creation of new species.

“A lot of closely related coral reef fishes differ in little else but color and pattern,” said Owen McMillan, co-author and academic dean at STRI. “I fully expect that the discoveries we have made in hamlets will apply to other forms of life and may ultimately explain the remarkable diversity of fishes on coral reefs around the world.” T

identificar cuatro regiones estrechas del genoma que están altamente diferenciadas de manera consistente entre las especies en un contexto de casi ninguna diferencia genética en el resto del genoma”, comentó el coautor Kosmas Hench, estudiante de doctorado en GEOMAR. Estos cuatro intervalos incluyen genes involucrados con la visión y el patrón de color.

Los datos también muestran que los genes de la visión y el patrón de color permanecen acoplados a pesar del hecho de que están ubicados en tres cromosomas diferentes y que las especies aún se cruzan. Tal acoplamiento se informó anteriormente cuando los conjuntos de genes están muy cerca uno del otro en un cromosoma, en cuyo caso están protegidos de la recombinación sexual, pero no cuando están en diferentes cromosomas. Al capturar las etapas más tempranas de la especiación en los hamlets, el equipo muestra cómo la selección puede contribuir a la creación de nuevas especies.

“Muchos peces de arrecifes de coral estrechamente relacionados difieren en poco más que en el color y el patrón”, comentó Owen McMillan, coautor y decano académico de STRI. “Espero totalmente que los descubrimientos que hemos hecho en los hamlets se apliquen a otras formas de vida y, en última instancia, puedan explicar la notable diversidad de peces en los arrecifes de coral de todo el mundo”. T




Females in disguise

Hembras disfrazadas



A hummingbird in male plumage rests on Jorge Medina's hand for a minute after being weighed, measured, and tagged before flying off into the forest in Panama's Soberania National Park. Falk also takes a small blood sample in order to find out each bird's true sex. | Un colibrí con plumaje masculino descansa sobre la mano de Jorge Medina por un minuto después de haber sido pesado, medido y marcado antes de volar al bosque en el Parque Nacional Soberanía de Panamá. Falk también toma una pequeña muestra de sangre para descubrir el verdadero sexo de cada ave. Photo by | Foto por: Irene Mendez Cruz



In a male-dominated environment, female hummingbirds may be disguising their sex to get ahead. A Smithsonian visiting researcher zeroes in on one species to understand why.

In 1973, an ornithologist in London acquired what he thought was a male White-necked Jacobin, a common tropical hummingbird known for its striking blue head, emerald green body, white breast and its priestly white collar. After a few years in his aviary, he was surprised to find that the bird had molted into drabber, female plumage.

Jay Falk, a visiting Ph.D. student at Cornell University and predoctoral fellow at the Smithsonian Tropical Research Institute, believes the collector witnessed a rarely documented phenomenon: a female transitioning to its “normal” plumage after wearing male feathering.

“[For] this bird to moult from a somewhat male plumage into a typical female plumage seems most unusual,” wrote the ornithologist, R. J. Elgar. Scientists had already documented females in male plumage but witnessing the change from one to the other was new.

Four-plus decades later, Falk is determined to document this change again. During his fellowship, Falk hopes to study female hummingbirds as they take on male plumage, known as androchromatism. While the phenomenon turns out to be common across hummingbird species, very little is known about why they do this.

Earlier this year in the Panama Canal town of Gamboa, Falk caught and tagged 120 Jacobins. He fitted them with tiny transmitters that log visits to a network of 30 feeders set up around town. His ultimate goal is to not only understand whether the females’ change of plumage occurs in nature, but to better understand why some females look like males in the first place.

Falk has some pretty good guesses. Male hummingbirds can be really annoying — and they only really have one (or two) things on their minds. They are masters when it comes to territorial and sexual harassment.

“In some animals, males bother females so often that it becomes detrimental,” Falk explains. “So, in this case, looking like a male may actually give the females some sort of advantage by disguise.”

Falk’s experiments and observations have so far shown that the cross-plumaging females may face less aggression from other hummingbirds. This could lead to improved access to food, which may improve their ability to survive and reproduce.

Males defend their feeding territories so assiduously that just their appearance keeps others away. Females in their drab garb feed stealthily.

The bird collector's story suggests that females are able to change color during their lifetimes. But can females in disguise find mates? As it turns out, female coloration might not matter much to males. When the mood strikes, male Jacobins try to mate with anything — even if it's not moving. Lab experiments with live males and taxidermy females in both plumages show that males attempt to mate with both. They even put the moves on male taxidermy mounts.

"Male hummingbirds really aren't selective at all," says Falk. "They go for the thing that they think is a female first and then, if that doesn't work out, they go for something else."

Female Jacobins in male plumage may tend nests with eggs or offspring, suggesting that their coloration does not inhibit reproduction. This raises a question — if females can switch plumage, why bother having traditional female plumage at all?

The lack of an answer to this question reveals one of the stark truths about hummingbirds: We know very little about them. In spite of being one of the most remarkable families (the Trochilidae from the Greek trochilos or small bird), and their lightning-fast wing speed, their ability to fly backwards and their enormous popularity among birders, the basic life histories of 300-plus hummingbird species still remain a mystery.

"What makes them fascinating to study is that so little information is known about tropical hummingbirds, so almost anything we can contribute is new" says Falk, whose tiny transmitters will gather thousands of data points to help better understand their basic ecology. "Most of what we know about hummingbirds comes from the few species that are found in temperate zones. It's a really crazy thing but we don't even know when most tropical hummingbirds breed."

As with all things in nature, a solid understanding of their biology is fundamental to their conservation.

"People just love hummingbirds, whether they know anything about their biology or not. And people are really interested in their conservation," says Falk. "So, the more we know about them, the more people will appreciate them and want to conserve the land they live on."

And for Falk's project, understanding females is the most important challenge of all.

En un ambiente dominado por machos, los colibríes hembras pueden disfrazar su sexo para salir adelante. Un investigador visitante del Smithsonian se enfoca en una especie para entender por qué.

En 1973, un ornitólogo en Londres adquirió lo que él pensó que era un jacobino macho de cuello blanco, un colibrí tropical común, conocido por su llamativa cabeza azul, su cuerpo de color verde esmeralda, su pecho blanco y cuello blanco. Después de unos años en su aviario, se sorprendió al descubrir que el ave había mudado a un plumaje de hembra, más sombrío.

Jay Falk, estudiante de Ph.D. visitante en la Universidad de Cornell y becario predoctoral en el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, cree que el coleccionista fue testigo de un fenómeno poco documentado: una hembra en transición a su plumaje "normal" después de usar el plumaje masculino.

"Para esta ave, mudar de un plumaje algo masculino a un plumaje hembra típico parece muy inusual", escribió el ornitólogo, R. J. Elgar. Los científicos ya habían documentado a las hembras con plumaje masculino, pero presenciar el cambio de uno a otro era algo nuevo.

Más de cuatro décadas después, Falk está decidido a documentar este cambio nuevamente. Durante su beca, Falk espera estudiar a los colibríes hembra mientras adquieren el plumaje masculino, conocido como androcromatismo. Si bien el fenómeno resulta ser común en todas las especies de colibríes, se sabe muy poco acerca de por qué lo hacen.

A principios de este año en el pueblo de Gamboa, en la ribera del Canal de Panamá, Falk capturó y marcó a 120 jacobinos. Les equipó con diminutos transmisores que registran visitas a una red de 30 alimentadores instalados en el pueblo. Su objetivo final no es solo comprender si el cambio de plumaje de las hembras ocurre en la naturaleza, sino también comprender mejor por qué algunas hembras parecen machos.

Falk tiene algunas conjeturas bastante buenas. Los colibríes machos pueden ser realmente molestos, y solo tienen una (o dos) cosas en sus mentes. Son maestros del acoso sexual y territorial.

"En algunos animales, los machos molestan a las hembras con tanta frecuencia que su comportamiento se vuelve perjudicial", explica Falk. "Entonces, en este caso,



Above: Falk | Arriba: Falk Below: Hummingbird eating. |
Abajo: Colibrí comiendo. Photos by | Fotos por: Jorge Alemán,
STRI

lucir como un macho en realidad puede dar a las hembras algún tipo de ventaja".

Los experimentos y observaciones de Falk hasta ahora han demostrado que las hembras de plumaje cruzado pueden enfrentar menos agresiones de otros colibríes. Esto podría conducir a un mejor acceso a los alimentos, lo que puede mejorar su capacidad de sobrevivir y de reproducirse.

Los machos defienden sus territorios de alimentación tan asiduamente que solo su apariencia aleja a los demás. Las hembras con su atuendo monótono se alimentan sigilosamente.

La historia del coleccionista de aves sugiere que las hembras pueden cambiar de color durante sus vidas. ¿Pero pueden las hembras disfrazadas encontrar pareja? Como resultado, la coloración femenina podría no importar mucho a los machos. Curiosamente, los jacobinos machos intentan aparearse con cualquier cosa, incluso si esta no se mueve. Los experimentos de laboratorio con machos vivos y muestras taxidérmicas de hembras en ambos plumajes muestran que los machos intentan aparearse con ambos. Incluso se interesan en muestras taxidérmicas de machos.

"Los colibríes machos realmente no son selectivos", comentó Falk. "Van por lo que creen que es una hembra primero y luego, si eso no funciona, buscan otra cosa".



Jay Falk, graduate student in the department of neurobiology and behavior at Cornell University, and Smithsonian predoctoral fellow, prepares tiny leg bands for hummingbirds at the Panama Rainforest Discovery Center on Pipeline Road, where birdwatchers often gather on the observation deck to watch hummingbirds feeding. | Jay Falk, estudiante de postgrado del departamento de neurobiología y comportamiento de la Universidad de Cornell y becario predoctoral del Smithsonian, prepara pequeñas bandas para colibríes en el Panama Rainforest Discovery Center en el Camino del Oleoducto, donde los observadores de aves a menudo se reúnen en la plataforma de observación para ver cómo se alimentan los colibríes. Photo by | Foto por: Irene Mendez Cruz

“Females are often the limiting factor in a species. And in an animal like a hummingbird, if you’re interested in conservation, you need to know what the females are doing. Right now, we’re eager to find out more.” T

Las jacobinas hembras en plumaje masculino pueden tender nidos con huevos o crías, lo que sugiere que su coloración no inhibe la reproducción. Esto plantea una pregunta: si las hembras pueden cambiar el plumaje, ¿por qué molestarse en tener el plumaje tradicional de hembra?

La falta de respuesta a esta interrogante revela una cruel verdad: sabemos muy poco sobre los colibríes. A pesar de ser una de las familias más notables (Trochilidae del griego trochilos o ave pequeña), y su vuelo ultrarrápido, su capacidad para volar hacia atrás y su enorme popularidad entre los observadores de aves, las historias de vida básicas de más de las 300 especies de colibrí continúan siendo un misterio.

"Lo que los hace tan fascinantes de estudiar es que se conoce muy poco sobre los colibríes tropicales, por lo que casi cualquier cosa que podamos aportar es nueva", comentó Falk, cuyos diminutos transmisores recopilarán miles de puntos de datos para comprender mejor su ecología básica. "La mayoría de lo que sabemos sobre los colibríes proviene de las pocas especies que se encuentran en las zonas templadas. Es una locura, pero ni siquiera sabemos cuándo la mayoría de los colibríes tropicales se reproducen".

Como con todas las cosas en la naturaleza, una comprensión sólida de su biología es fundamental para su conservación.

"A la gente le encantan los colibríes, ya sea que sepan algo sobre su biología o no. Y la gente está realmente interesada en su conservación", comentó Falk. "Entonces, cuanto más sepamos sobre ellos, más los apreciarán las personas y querrán conservar la tierra en la que viven".

Y para el proyecto de Falk, comprender a las hembras es el desafío más importante de todos.

"A menudo las hembras son el factor limitante en una especie. Y en un animal como un colibrí, si nos interesa su conservación, necesitaremos saber qué están haciendo las hembras. En este momento, estamos ansiosos por saber más". T



Above: Falk uses a chip reader to identify an individual bird based on a coded chip under her/his skin. The feeders Jay uses to study behavior are also equipped with chip readers so they can automatically record which birds feed and when. | Arriba: Falk usa un lector de chips para identificar un ave individual basado en un chip codificado debajo de su piel. Los comederos que Jay usa para estudiar el comportamiento también están equipados con lectores de chips para que puedan registrar automáticamente qué aves se alimentan y cuándo. Photo by | Foto por: Irene Mendez Cruz



Jorge Medina, ornithologist, STRI intern and student at the University of Panama, spent 4 months learning methods to study bird behavior. | Jorge Medina, ornitólogo, pasante de STRI y estudiante de la Universidad de Panamá, pasó 4 meses aprendiendo métodos para estudiar el comportamiento de las aves. Photo by | Foto por: Irene Mendez Cruz



Mind-meld

Fusión de mentes



Megalopta genalis. Credit | Crédito: USGS Bee Inventory and Monitoring Lab

Virtual reality simulates darktime navigation

Possessing superpowers that intrigue military intelligence experts, nocturnal bees wing through dense tropical vegetation just after dark and before dawn, gathering pollen from the giant, shaving brush-like flowers of towering Barrigon trees.

Their enormous compound eyes, 30 times more sensitive to light than the eyes of bees active during the day, concentrate photons giving them the ability to see in the dark.

When *Megalopta genalis* came to the attention of one of the leading international groups who study eyes and vision in Sweden, they hoped to study it there. But, because it proved impossible to raise this tropical forest sweat bee in captivity, post-doctoral fellow Anna Honkanen arrived in Panama to collect active sweat bees in Soberania National Park.

In staff scientist Bill Wcislo's neurobiology lab at the Smithsonian in Panama City, Anna's ready to listen to their thoughts.

"When I spend hours probing a living bee's brain and listening to signals from individual neurons as they fire, I feel like I am the bee. It's a very strange sensation," says Anna as she sits on a stool in front of the setup inside a Faraday cage.

"To understand how the bee processes information from its environment, I first chill the bee to slow it down. Then I remove its wings and legs and place its body inside a small plastic holder," Anna says. "Then, while looking through a dissection microscope, I cut an extremely small hole in its exoskeleton, so that I have access to its brain, and I pipette a drop of enzyme to disrupt the outer membrane to insert an electrode. Finally, I mount the holder on a stand in the Faraday cage, with the bee's head inside a cylinder of LED lights programmed to show black and green stripes or other kinds of stimuli. For the bee, this is a virtual reality simulator—an extremely simple version of reality."

This sounds straightforward but it takes a bunch of tries to set up a single experiment. Like a glassblower, Anna draws out the glowing red-hot tips of special glass tubes to create ultra-thin electrodes. And once she had a problem with the micromanipulator, the device that translates

La realidad virtual simula la navegación en la oscuridad

Al poseer súper poderes que intrigan a los expertos en inteligencia militar, las abejas nocturnas vuelan a través de una densa vegetación tropical justo después del anochecer y antes del amanecer, recolectando el polen de las gigantescas flores de Barrigón.

Sus enormes ojos compuestos, 30 veces más sensibles a la luz que los ojos de abejas activas durante el día, concentran los fotones dándoles la habilidad de ver en la oscuridad.

Cuando la *Megalopta genalis* llamó la atención de uno de los principales grupos internacionales que estudian ojos y visión en Suecia, esperaban estudiarla allí. Pero debido a que resultó imposible criar en cautiverio a esta abeja del bosque tropical, la becaria postdoctoral Anna Honkanen llegó a Panamá para recolectar abejas del sudor activas en el Parque Nacional Soberanía de Panamá.

En el laboratorio de neurobiología del científico Bill Wcislo en la sede del Smithsonian de la ciudad de Panamá, Anna está lista para escuchar sus pensamientos.

"Cuando paso horas explorando el cerebro de una abeja viva y escuchando las señales de las neuronas individuales mientras se disparan, siento que soy la abeja. Es una sensación muy extraña", comentó Anna mientras se sienta en un taburete frente a la instalación dentro de una jaula de Faraday.

"Para entender cómo la abeja procesa información de su entorno, primero enfrió a la abeja para que esté más lenta. Luego quito sus alas y patas y coloco su cuerpo dentro de un pequeño soporte de plástico", comentó Anna. "Luego, mientras miro a través de un microscopio de disección, corto un orificio extremadamente pequeño en su exoesqueleto para acceso a su cerebro, y agrego una gota de enzima para interrumpir la membrana externa para insertar un electrodo. Finalmente, instalo el recipiente en un soporte en la jaula de Faraday, con la cabeza de la abeja dentro de un cilindro de luces LED programadas para mostrar rayas negras y verdes u otros tipos de estímulos. Para la abeja, este es un simulador de realidad virtual, una versión extremadamente simple de la realidad".



Anna Honkanen stands in front of the Faraday Box she uses to keep other electrical signals out as she monitors bee brain activity. Anna Honkanen se para frente a la caja de Faraday que usa para aislar su experimento de otras señales eléctricas mientras observa la actividad cerebral de las abejas. Photo by: | Foto por: Jorge Alemán, STRI

instructions from her hand via a joystick into the ultrafine movements of the probe, that took weeks to troubleshoot.

“As the LED lights switch on and off creating the illusion of black and green stripes rotating around the bee’s head, I use the micromanipulator to remotely guide the glass probe into individual neurons.” As each cell activates, Anna hears the sharp crackle of electrical activity on the monitor and sees it on the oscilloscope.

Anna points to a blocky black piece of electrical equipment. The jagged lines that flatten or bounce as something excites a cell look like heart-monitor readout. By listening in on a single cell, Anna is able to map the activity of each neuron.

“I can tell exactly which cells respond as I change the external stimulus.” A higher frequency buzz means that the nerve cell is firing faster.

At the top of the bees’ compound eyes is a sensor called the dorsal rim that detects polarized UV light from the night sky. This is their compass. Anna literally turns the

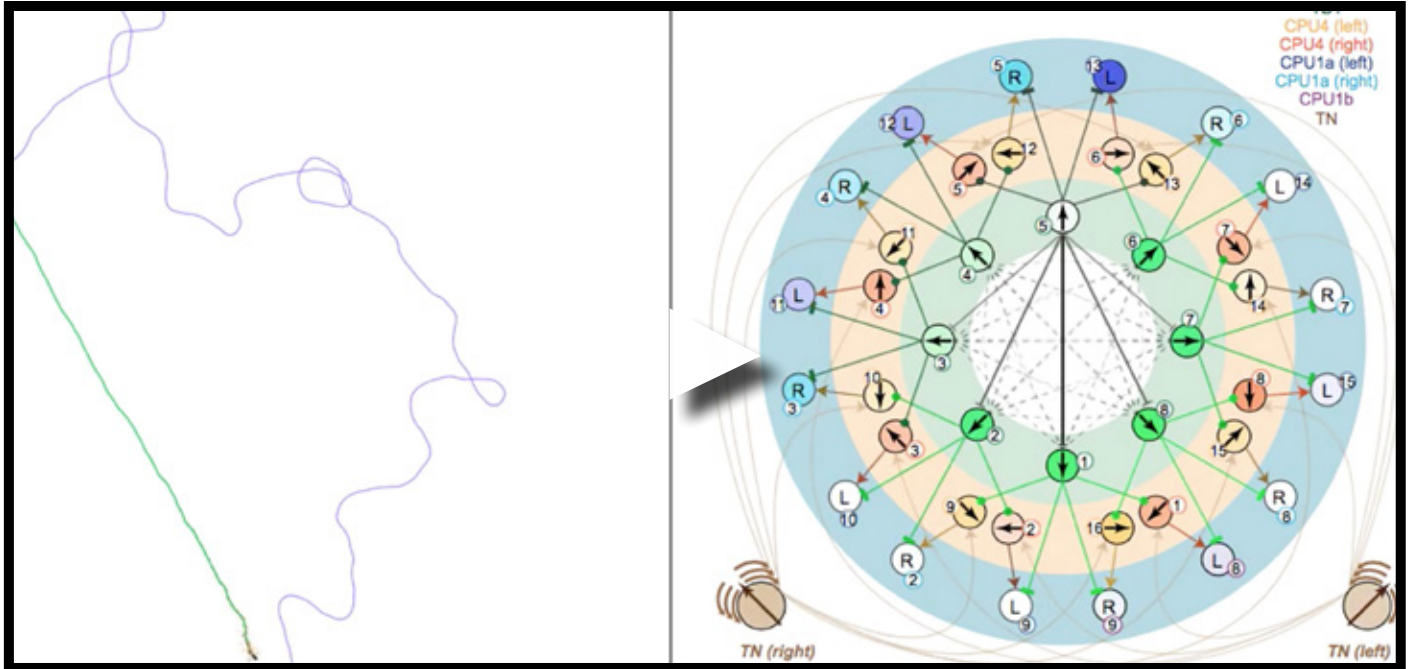
Esto suena sencillo, pero se necesitan muchos intentos para configurar un solo experimento. Como un soplador de vidrio, Anna extrae las brillantes puntas al rojo vivo de los tubos de vidrio especiales para crear electrodos ultra delgados. Y una vez tuvo un problema con el micromanipulador, el dispositivo que traduce las instrucciones de su mano a través de un joystick a los movimientos ultra finos de la sonda, que demoró semanas en solucionar.

“Cuando las luces LED se encienden y apagan creando la ilusión de franjas negras y verdes que giran alrededor de la cabeza de la abeja, uso el micro-manipulador para guiar de forma remota la sonda de vidrio hacia neuronas individuales”. A medida que se activa cada célula, ella escucha el agudo crujido de la actividad eléctrica en el monitor y lo ve en el osciloscopio.

Anna apunta a un bloque negro de equipo eléctrico. Las líneas irregulares que se aplanan o rebotan cuando algo excita a una celda, se parecen a la lectura de un

WATCH THE VIDEO
VEA EL VIDEO

Watch a diagram of this bee's brain activity as it wanders through the forest collecting food and then makes a beeline back to its nest. | Observa un diagrama de la actividad cerebral de esta abeja mientras deambula por el bosque recolectando alimentos y luego regresa a su nido.



This video presents a simulation of a bee's brain activity as it wanders through a virtual forest collecting food and then makes a beeline back to its nest. The model behaves very much like bees behave in nature. | Este video presenta una simulación de la actividad cerebral de una abeja mientras deambula por un bosque virtual recolectando alimentos y luego regresa a su nido. El modelo se comporta de la misma manera que las abejas se comportan en la naturaleza. From | De: Stone, Thomas, et al. "An anatomically constrained model for path integration in the bee brain." *Current Biology* 27.20 (2017): 3069-3085.

Not only does this sweat bee have huge, compound eyes, it also has three ocelli between the eyes. The ocelli are probably involved in measuring light intensity. The area near the top edge of the bees' compound eyes above the antennae is used for direction detection. Esta abeja del sudor no solo tiene ojos enormes y compuestos, sino que también tiene tres ocelos entre los ojos. Los ocelos probablemente están involucrados en la medición de la intensidad de la luz. El área cerca del borde superior de los ojos compuestos de las abejas por encima de las antenas se utiliza para la detección de la dirección.

sky by moving the polarized light signal, discerning which neurons excite as the bee "changes direction" within the virtual landscape.

The rest of the compound eye detects motion and sees the landscape passing by.

The moving stripes in the rotating cylinder give the bees optic flow information—the sense of how fast the virtual landscape is going by. When the striped pattern moves fast enough, they have the sensation that they are speeding through space, and when it slows, they think they are slowing down, even though they remain in one place—like the sensation that happens in traffic when a neighboring car slides by and for a moment, it is impossible to be sure if it is your or the other that's moving. They use this information to determine how far and fast they have flown.

monitor cardíaco. Al escuchar en una sola célula, ella puede mapear la actividad de cada neurona.

"Puedo decir exactamente qué células responden cuando cambio el estímulo externo". Un zumbido de mayor frecuencia significa que la célula nerviosa está disparando más rápido.

En la parte superior de los ojos compuestos de las abejas hay un sensor llamado borde dorsal que detecta la luz ultravioleta polarizada del cielo nocturno. Esta es su brújula. Anna literalmente gira el cielo moviendo la señal de luz polarizada, discerniendo qué neuronas se excitan cuando la abeja "cambia de dirección" dentro del paisaje virtual.

El resto del ojo compuesto detecta movimiento y ve pasar el paisaje.

“The central complex is one of the functional centers in the insect brain. They also have optic lobes for processing visual information, olfactory lobes for processing smell and mushroom bodies for memory storage. The central complex seems to integrate many types of sensory information and produce command signals initiating movements in the wing and leg muscles.” And there are cells in the central complex that react to what they are seeing.

So what happens in the central complex to make it possible for the bees to find their way straight home?

Long ago, sailors navigated by dead reckoning. The origin of this term comes from the first step in the process: throwing a log into the water. The log, like a dead body, didn't move, hence another term: dead in the water. Based on the movement of the boat relative to the log, the crew could estimate (reckon) how long it would take to arrive at their home port.

The bees use a kind of dead reckoning known as path integration or vector integration. If Anna's model is right, the bees integrate and store all of the information about their own direction and speed on the outward journey through the flower-filled tropical forest canopy, so that when they are ready to turn around, an imaginary compass needle in their central complex points the way home.

“We use landmarks more than bees do,” says Anna. Honey bees may forage several kilometers away from their

Las franjas en movimiento en el cilindro giratorio brindan a las abejas información, como un odómetro, la sensación de lo rápido que pasa el paisaje virtual. Cuando el patrón de rayas se mueve lo suficientemente rápido, tienen la sensación de que están acelerando a través del espacio, y cuando disminuye la velocidad, piensan que se están desacelerando, aunque permanezcan en un lugar, como la sensación que ocurre en el tráfico cuando un automóvil vecino pasa y por un momento, es imposible estar seguro si uno se está moviendo o es el otro auto. Utilizan esta información para determinar qué tan lejos y rápido han volado.

“El complejo central es uno de los centros funcionales en el cerebro del insecto. También tienen lóbulos ópticos para procesar información visual, lóbulos olfativos para procesar olores y cuerpos de hongos para almacenamiento de memoria. El complejo central parece integrar muchos tipos de información sensorial y producir señales de comando que inician movimientos en los músculos de las alas y las patas”. Y hay células en el complejo central que reaccionan a lo que están viendo.

Entonces, ¿qué sucede en el complejo central para que las abejas puedan llegar directamente a casa?

Hace mucho tiempo, los marineros navegaban a estima. El origen de este término proviene del primer paso en el proceso: lanzar un tronco al agua. Sobre la base del movimiento del barco en relación con el tronco, la



Not only does this sweat bee have huge, compound eyes, it also has three ocelli between the eyes that may be involved in detecting direction based on polarized light coming through the rainforest canopy. | Esta abeja no solo tiene ojos enormes y compuestos, sino que también tiene tres ocelos entre los ojos que pueden participar en la detección de la dirección en función de la luz polarizada que atraviesa el dosel de la selva. Credit | Crédito: USGS Bee Inventory and Monitoring Lab

“When I spend hours probing a living bee’s brain and listening to signals from individual neurons as they fire, I feel like I am the bee. It’s a very strange sensation.

Cuando paso horas explorando el cerebro de una abeja viva y escuchando las señales de las neuronas individuales mientras se disparan, siento que soy la abeja. Es una sensación muy extraña.”

- Anna Honkanen

hive, which would be like hundreds of kilometers for a person: we would never find our way home if we had to remember all of the landmarks along the way.”

Anna and her team imagine that the bees have a compass-like arrangement of information in their brains.

“We’re expecting other surprises about control and command functions of the brain that apply not only to bees, but to other insects and even more complex forms of life.” T

tripulación podría estimar (calcular) cuánto tardaría en llegar a su puerto de origen.

Las abejas utilizan un tipo de navegación a estima conocido como integración de ruta o integración vectorial. Si el modelo de Anna es correcto, las abejas integran y almacenan toda la información sobre su propia dirección y velocidad en el viaje hacia el exterior a través del dosel del bosque tropical lleno de flores, de modo que cuando estén listas para volver, una brújula imaginaria en su complejo central les señala el camino a casa.

"Usamos puntos de referencia más que las abejas", comentó Anna. Las abejas melíferas pueden forrajear a varios kilómetros de distancia de su colmena, lo que sería como cientos de kilómetros para una persona: nunca encontraríamos nuestro camino a casa si tuviéramos que recordar todos los puntos de referencia en el camino".

Anna y su equipo imaginan que las abejas tienen un compás de información en sus cerebros.

"Estamos esperando otras sorpresas sobre las funciones de control y comando del cerebro que se aplican no solo a las abejas, sino a otros insectos y formas de vida aún más complejas". T



Milton Garcia's Bird's-Eye-View

La vista desde lo alto
con Milton García

Photo by | Foto por: Milton García



Walking into Milton's office at the Smithsonian's Tupper Center in Panama is like walking into an electronics store. Plastic boxes filled with slightly mysterious parts and gadgets on the countertops provide the first clues that Milton is an inventor and can fix almost anything.

Milton assembles, repairs and operates the complex equipment that staff scientist Klaus Winter's group uses to discover how plants may react to global warming scenarios. He also works with staff scientists Joe Wright and Helene Muller-Landau as drone technician and operator, a skill currently in great demand both by biologists and conservationists.

Most of what goes on in a tropical forest is far out of reach at the tops of tall canopy trees. Ingenious biologists have used climbing gear, pulleys and even construction cranes to access the canopy, but drones are sometimes the best tool and they are relatively inexpensive.

For the last two years, Milton has been running the drone survey of STRI's 50-hectare long-term forest dynamics plot on Barro Colorado Island every month, enabling researchers to compare data taken on the ground with images taken from the sky and to better understand how the forest changes with the seasons and with changing environmental conditions.

Satellites photograph treetops from space but a drone has the advantage of being able to fly underneath the clouds, which often block the view of the landscape below, especially in the humid tropics.

It costs upwards of \$100,000 for a single flight by a plane carrying LIDAR equipment to map forest structure and provide images to monitor forest health.

But a drone can do the same job at a much lower cost and

When he's not racing his bike cross-country, Milton Garcia is in demand for his expertise driving drones.

Cuando no está manejando su bicicleta a campo traviesa, Milton García tiene gran demanda por su experiencia manejando drones.

Enterar en la oficina de Milton en el Centro de Investigación Earl S. Tupper del Smithsonian en Panamá es como entrar a una tienda de electrónica. Las cajas de plástico llenas de partes y artilugios ligeramente misteriosos en las repisas proporcionan las primeras pistas de que Milton es un inventor y puede arreglar casi cualquier cosa.

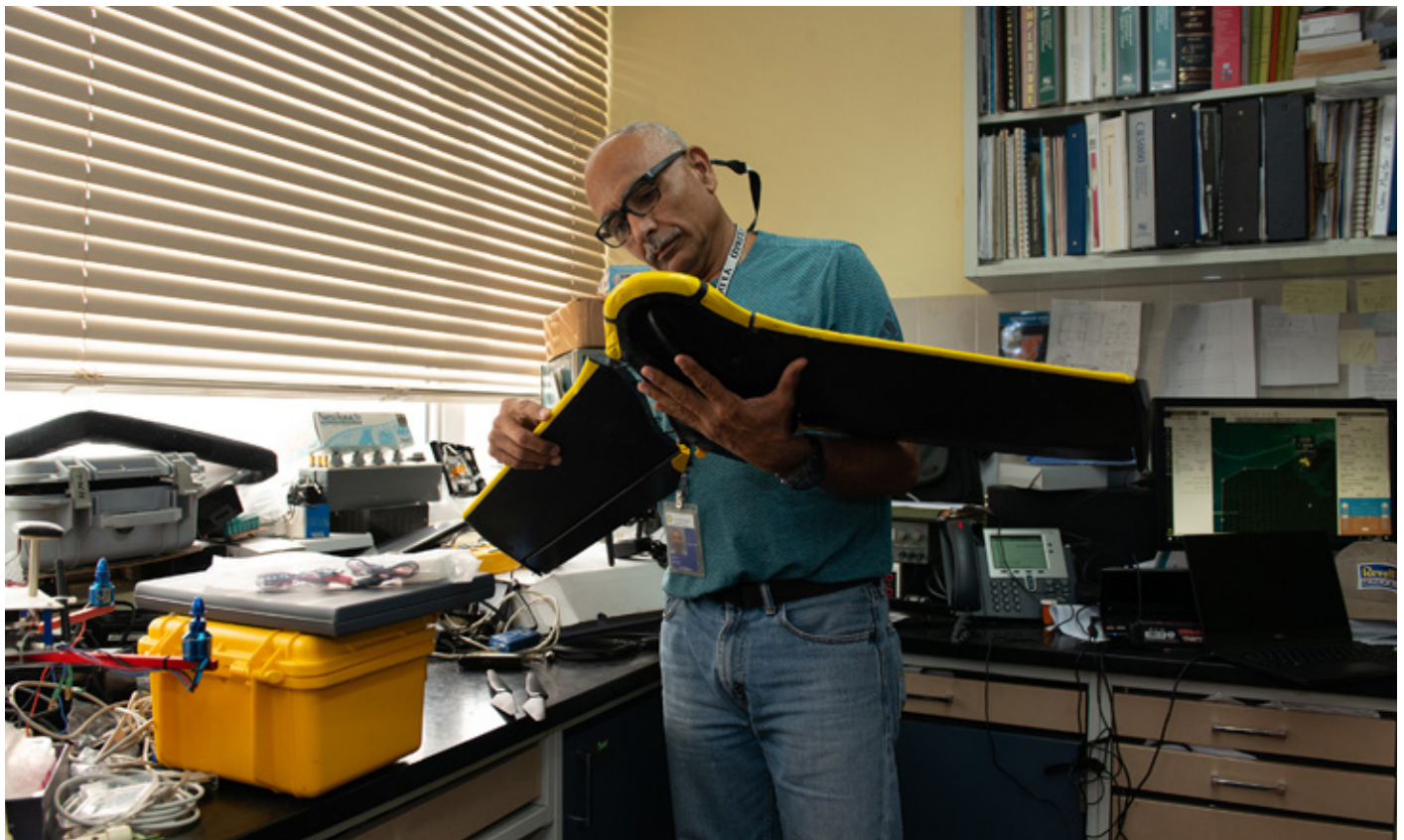
Milton ensambla, repara y opera el complejo equipo que utiliza el grupo del científico Klaus Winter para descubrir cómo las plantas pueden reaccionar a los futuros escenarios del calentamiento global. También trabaja con Joe Wright y Helene Muller-Landau como técnico y operador de drones, una habilidad actualmente muy en demandada tanto por biólogos como por conservacionistas.

La mayor parte de lo que ocurre en un bosque tropical está lejos de su alcance en el dosel de los altos árboles. Ingeniosos biólogos usaron aparejos de escalada, poleas e incluso grúas de construcción para acceder al dosel, pero los drones superaron todos esos métodos y son relativamente baratos.

Durante los últimos dos años, con el uso de drones, Milton ha estado realizando el estudio de la parcela de 50 hectareas de dinámica forestal de STRI en Isla Barro Colorado cada mes, lo que permite a los investigadores comparar datos tomados en el suelo con imágenes tomadas del cielo y comprender mejor cómo el bosque cambia con las estaciones y con las condiciones ambientales cambiantes.

Los satélites fotografían las copas de los árboles desde el espacio, pero un dron tiene la ventaja de volar debajo de las nubes, que a menudo bloquean la vista del paisaje. Los científicos han llegado a pagar más de \$100,000 por un solo vuelo en un avión que transportaba equipos LIDAR para mapear la estructura del bosque y proporcionar imágenes espectrales. Pero un dron puede hacer el mismo trabajo a un costo mucho menor y se puede montar con diferentes conjuntos de cámaras y sensores dependiendo del propósito del vuelo.

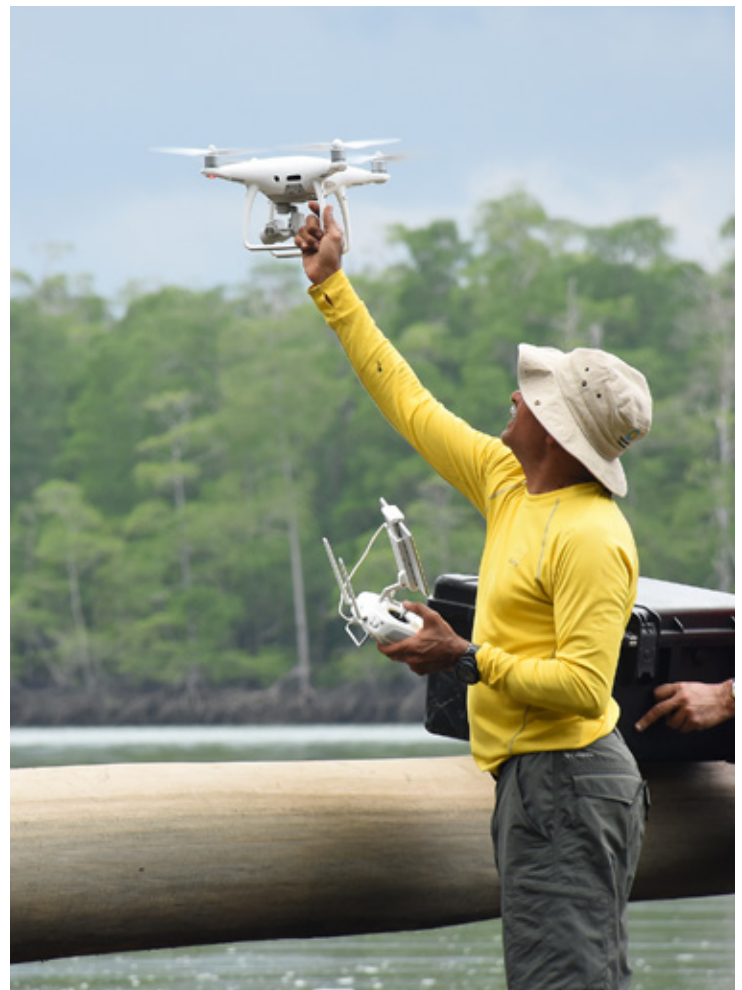
Recientemente, Milton viajó con Steve Paton, director del Programa de Monitoreo Físico de STRI al área de manglares de La Maestra, a unos 70 kilómetros al este de Ciudad de Panamá, gracias a una invitación de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá (SENACYT) para investigar informes de



Milton García in his office at the Earl S. Tupper Research, Library and Conference Center in Panama City. | Milton García labora en su oficina en el Centro de Investigaciones y Conferencias Earl. S. Tupper en Panamá. Photo by | Foto Por: Jorge Alemán, STRI

Right: Milton García launching a drone. | Derecha: Milton García lanzando un dron. Photo by | Foto por: Steve Paton

Below: STRI staff scientist Helene Muller-Landau pioneered the use of drones for the study of tropical forest dynamics. Abajo: La científica de STRI Helene Muller-Landau fue pionera en el uso de drones para el estudio de la dinámica de los bosques tropicales. Photo by | Foto Por: Lian Pin Koh, ConservationDrones.org





García traveled to the La Maestra mangrove area east of Panama City with Steve Paton from STRI's Physical Monitoring Program to investigate reports of a large-scale mangrove die-off. | García viajó a la zona de manglares de La Maestra al este de la Ciudad de Panamá con Steve Paton, director del Programa de Monitoreo Físico de STRI para investigar los informes de una muerte a gran escala de manglares. Photo by | Foto Por: Milton García

can be mounted with different sets of cameras and sensors depending upon the purpose of the flight.

Recently, Milton traveled with Steve Paton, the director of STRI's Physical Monitoring Program, to the La Maestra mangrove area approximately 70 kilometers east of Panama City, invited by Panama's National Bureau of Science and Technology (SENACYT) to investigate reports of large-scale death of mangrove forests as a result of the 2015-2016 El Niño event. His drone photography not only provided high-resolution documentation of the extent and nature of the mangrove die-off, it also revealed deforestation in the area.

STRI Deputy Director, Bill Wcislo, asked Milton to map the Smithsonian's newest research station in Panama on Coibita Island in Panama's Coiba National Park, where STRI videographer, Ana Endara, interviewed him. **T**

muertes a gran escala de manglares como resultado del evento El Niño 2015-2016. Su fotografía con drones proporcionó documentación de alta resolución sobre el alcance y la naturaleza de la extinción de los manglares y también reveló la deforestación de la zona.

El subdirector de STRI, Bill Wcislo, pidió a Milton que mapeara la estación de investigación más reciente del Smithsonian en Isla Coibita, localizada en el Parque Nacional Coiba de Panamá, donde nuestra camarógrafa, Ana Endara, lo entrevistó. **T**

Milton monitored mangrove deforestation on Panama's Pacific coast, mapped a new research station in Coiba National Park and tracked blooming trees on Barro Colorado Island, the first plot in an international network of forest monitoring sites.

Milton monitoreó la deforestación de manglares en la costa pacífica de Panamá, mapeó una nueva estación de investigación en el Parque Nacional Coiba y rastreó árboles en flor en Isla Barro Colorado, la primera parcela en una red internacional de sitios de monitoreo forestal.

 **WATCH THE VIDEO**
VEA EL VIDEO

"A different perspective | Una perspectiva diferente"

On YouTube's Smithsonian Tropical Research Institute channel
En el canal de YouTube del "Smithsonian Tropical Research Institute"



Video by | por: Ana Endara, STRI



Plastic Fish

Peces plásticos



Peacock bass illustration by | Ilustración de sargento por: Rosi Oldenburg
www.RosiOldenburgFineArt.com

Adapting to see in new environments may be key to a successful invasion

Sport fishermen first brought peacock bass, native to the Amazon, to Panama in 1967. Fifty years later, they are the most common fish in the reservoir forming the main channel of the Panama Canal, having decimated native fish species. New results suggest that their ability to see in both clear and muddy areas of the lake may have contributed to the success of the invasion.

“We found that peacock bass are able to tune their vision to the available light,” said Daniel Escobar-Camacho, doctoral student at the University of Maryland and first author of the study. “Fish from murky water are more sensitive to long-wavelengths of light and may be changing their gene expression in the retina in order to cope with murky habitats.”

Lake Gatun formed in 1913 when the Chagres River was dammed to form a reservoir spanning most of the distance from the Caribbean to the Pacific—the canal channel. Today, due to human activities, water quality varies throughout Lake Gatun. There is clear water in parts of the lake protected by forested parklands but deforestation and development in parts of the watershed have muddied the waters, as has continual dredging to remove sediment from the main channel.

Peacock bass are excellent hunters. To detect prey, they rely heavily on keen vision. Differences in water quality in Lake Gatun make it an excellent place for a natural experiment to discover if peacock bass vision changes depending upon where they live.

Based at the Smithsonian research station on Barro Colorado Island, a former hilltop isolated in the middle of the lake, an international team of researchers accessed areas of clear water within the protected nature monument and areas of murky water near the Panama Canal waterway.

Using microspectrophotometry, a complex instrument that allows scientists to identify what colors the rods and cones in the retina can see, the authors compared the eyes of fish caught in clear water with the eyes of fish caught in murky water, and the eyes of fish caught in murky water but kept in clear water tanks for 6 months. They also measured levels of gene expression in the retinas of these

Adaptarse rápidamente para ver en nuevos entornos puede ser clave para una invasión exitosa

Los pescadores deportivos trajeron el *Cichla monoculus*, nativo del Amazonas, a Panamá en 1967. Cincuenta años después, son los peces más comunes en el embalse que forma el canal principal del Canal de Panamá, habiendo diezariado especies de peces nativos. Los nuevos resultados sugieren que su capacidad para ver tanto en aguas claras como turbias del lago puede haber contribuido al éxito de la invasión.

“Descubrimos que el *Cichla monoculus* puede ajustar su visión a la luz disponible”, comentó Daniel Escobar-Camacho, estudiante de doctorado de la Universidad de Maryland y primer autor del estudio. “Los peces de agua turbia son más sensibles a las longitudes de onda de la luz y pueden estar cambiando la expresión de sus genes en la retina para hacer frente a los hábitats turbios”.

El lago Gatún se formó en 1913 cuando el Río Chagres fue represado para formar un embalse que abarca la mayor parte de la distancia desde el Caribe hasta el Pacífico, la ruta del Canal. Hoy en día, debido a las actividades humanas, la calidad del agua varía a lo largo del lago Gatún. Hay aguas claras en partes del lago protegidas por zonas verdes boscosas, pero la deforestación y el desarrollo en partes de la cuenca han enturbiado las aguas, al igual que el dragado continuo para eliminar los sedimentos del canal principal.

Los *Cichla monoculus* son excelentes cazadores. Para detectar presas, dependen en gran medida de una visión aguda. Las diferencias en la calidad del agua en el lago Gatún lo convierten en un lugar excelente para que un experimento natural descubra si la visión de estos peces cambia según el lugar donde viven.

Con base en la estación de investigación del Smithsonian en Isla Barro Colorado, una antigua colina aislada en medio del lago, un equipo internacional de investigadores accedió a áreas de agua clara dentro del monumento natural protegido y áreas de agua turbia cerca de la ruta del Canal de Panamá.

Usando la microespectrofotometría, un instrumento complejo que permite identificar qué colores pueden



Peacock bass | Pez sargento, *Cichla monoculus*. Photo credit | crédito: Diane Sharpe

Amazonian peacock bass, *Cichla monoculus*, successfully invaded the Panama Canal, perhaps by adapting to see in clear and murky waters.

fish.

Several clues lead the team to believe that the peacock bass tune their vision to changing light environments and that this is product of an astonishing range of adaptations in their visual system.

First, the lens and the cornea in their eyes are designed to block the transmission of short wavelengths. “We noticed that the upper part of the cornea was tinted yellow,” Escobar-Camacho explained. “This coloration may act as a sun shade, reducing the amount of blue light reaching the retina, kind of like sunglasses removing the glare on a bright day.”

The team also found that the peacock bass can fine-tune mixtures of vitamin A1 and A2 in their retinas, which results in increasing their sensitivity to different regions of the color spectrum. Among vertebrates, aquatic species such as freshwater fish and tadpoles can use both vitamin A types, whereas terrestrial vertebrates only use vitamin A1. Vitamin A1 and A2 differ in their molecular structure and in their chemical interactions with the opsins, the light-sensitive proteins found in cones and rods of the retina. Photoreceptors containing vitamin A2 absorb light at longer wavelengths than photoreceptors based on vitamin A1.

“Fish from turbid water seem to have more vitamin A2 in their retinas, which shifts their sensitivity to the

El pez *Cichla monoculus*, invadió el Canal de Panamá, quizás aprovechando la plasticidad de su sistema visual para sobrevivir en aguas turbias y claras.

ver los bastones y los conos en la retina, los autores compararon los ojos de peces capturados en aguas claras con los ojos de peces capturados en aguas turbias pero que se mantuvieron en tanques de agua clara durante 6 meses. También midieron los niveles de expresión génica en las retinas de estos peces.

Varias pistas llevaron al equipo a creer que los *Cichla monoculus* ajustan su visión a los entornos de luz cambiante y que esto es producto de una sorprendente gama de adaptaciones en su sistema visual.

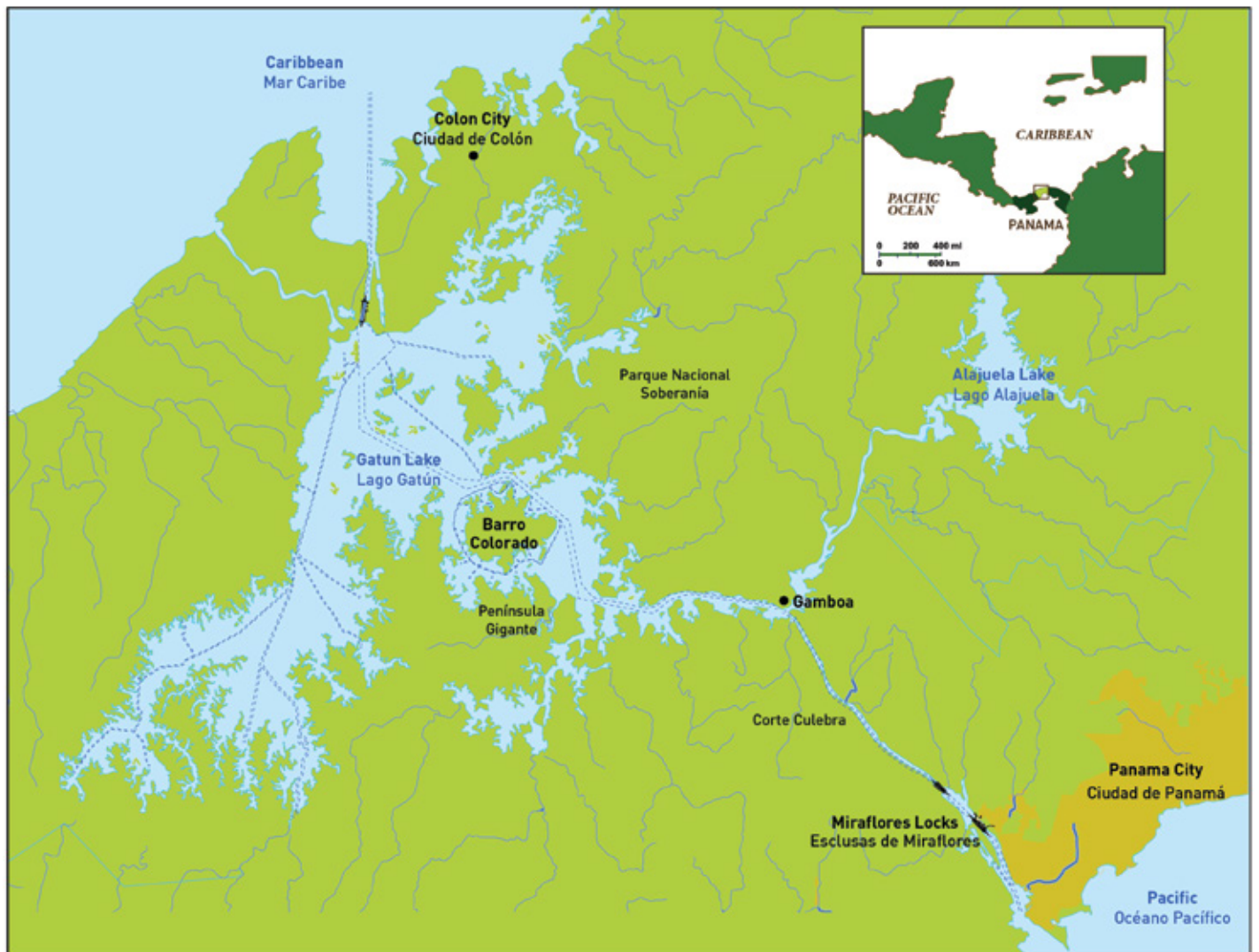
Primero, la lente y la córnea en sus ojos están diseñados para bloquear la transmisión de longitudes de onda cortas. “Notamos que la parte superior de la córnea estaba teñida de amarillo”, explicó Escobar-Camacho. “Esta coloración puede actuar como un parasol, reduciendo la cantidad de luz azul que llega a la retina, como las gafas de sol que quitan el brillo en un día soleado”.

El equipo también descubrió que el *Cichla monoculus* puede ajustar las mezclas de vitamina A1 y A2 en sus retinas, lo que aumenta su sensibilidad a diferentes regiones del espectro de colores. Entre los vertebrados, las especies acuáticas como los peces de agua dulce y los renacuajos pueden usar ambos tipos de vitamina A, mientras que los vertebrados terrestres solo usan la vitamina A1. Las vitaminas A1 y A2 difieren en su

longer wavelengths of light that characterize brown, murky waters,” said Michele Pierotti, post-doctoral fellow at STRI. “But when we kept fish from murky waters in clear water tanks for six months, we found that they had lowered their vitamin A2 concentrations, adapting to the clear water. This suggests these fish can have what we call a plastic response that allows them to optimize their visual capability to the different environments in the lake. Rather than resorting to changes in expression of the genes sensitive to different colors, the opsins, it is more efficient for them to shift the sensitivity of the whole retina by

estructura molecular y en sus interacciones químicas con las opsinas, las proteínas sensibles a la luz que se encuentran en los conos y bastones de la retina. Los fotorreceptores que contienen vitamina A2 absorben la luz en longitudes de onda más largas que los fotorreceptores basados en la vitamina A1.

“Los peces de agua turbia parecen tener más vitamina A2 en sus retinas, lo que cambia su sensibilidad a las longitudes de onda más largas de la luz que caracterizan las aguas oscuras y de color marrón”, comentó Michele Pierotti, becario postdoctoral en STRI. “Pero cuando



Lake Gatun was the world’s largest human-made reservoir when the Chagres River was dammed between 1907 and 1913 to form the Panama Canal waterway. Because of ongoing dredging and development, the water is quite turbid in places and clean in others. This team proposes that predatory peacock bass wiped out native fish because they can see well in a wide variety of light conditions. | El lago Gatún fue el reservorio hecho por el hombre más grande del mundo cuando el Río Chagres fue represado entre 1907 y 1913 para formar parte del Canal de Panamá. Debido al dragado y desarrollo en curso, el agua es bastante turbia en algunos lugares y limpia en otros. Este equipo propone que el pez *Cichla monoculus*, un voraz depredador, eliminó a los peces nativos porque estos pueden ver bien en una amplia variedad de condiciones de luz.

modifying vitamin A1/A2 ratios.”

“We also noticed that fish from sites with very turbid water were expressing genes associated with stress and inflammation.” Pierotti said. “This should raise some concerns about the impact of human activities on the lake.”



Authors of the study are affiliated with STRI, the University of Maryland, College Park; the University of Tübingen and São Paulo State University.

Escobar-Camacho, D., Pierotti, M.E., Ferenc, V., Sharpe, D.M.T., Ramos, E., Martins, C., Carleton, K.L., 2019. Variable vision in variable environments: the visual system of an invasive cichlid (*Cichla monoculus*) in Lake Gatun, Panama. *Journal of Experimental Biology* Doi:10.1242/jeb. 188300

mantuvimos peces de aguas turbias en tanques de agua clara durante seis meses, encontramos que habían reducido sus concentraciones de vitamina A2, adaptándose al agua clara. Esto sugiere que estos peces pueden tener lo que llamamos una respuesta plástica que les permite optimizar su capacidad visual en los diferentes entornos del lago. "En lugar de recurrir a los cambios en la expresión de los genes sensibles a diferentes colores, las opsinas, es más eficiente para ellos cambiar la sensibilidad de toda la retina modificando las proporciones de vitamina A1/A2".

"También notamos que los peces de sitios con agua muy turbia expresaban genes asociados con el estrés y la inflamación", comentó Pierotti. "Esto debería generar algunas preocupaciones sobre el impacto de las actividades humanas en el lago".

Los autores del estudio están afiliados a STRI, la Universidad de Maryland, College Park; La Universidad de Tübingen y la Universidad Estatal de São Paulo.



WATCH THE VIDEO
VEA EL VIDEO

“What is a Microspectrophotometer? | ¿Qué es un micro-espectrómetro?”

On YouTube’s Smithsonian Tropical Research Institute channel

En el canal de YouTube del “Smithsonian Tropical Research Institute”



Video by | por: Ana Endara, STRI



The silence of the genes

El silencio de los genes

A close-up of a *Heliconius* butterfly wing reveals the tiny scales that cover it. The gene cortex is expressed in different parts of the developing wing at different times, which corresponds with the final color pattern. | La imagen en primer plano del ala de una mariposa *Heliconius* revela las pequeñas escamas que la cubren. El gen cortex se expresa en distintas partes del ala en desarrollo durante diferentes periodos, lo que corresponde con el color final del patrón. Photo courtesy of | Foto cortesía de: Nicola Nadeau

How knocking out control genes explains butterfly biodiversity

"Butterfly wing patterns are amazing," said Owen McMillan, staff scientist and academic dean at STRI. McMillan hosts senior scientists from a half-a-dozen nations, their students and post-doctoral fellows at STRI's insectarium in Gamboa, Panama to better understand the instructions—the genetic code—behind wing color patterns.

"The biggest surprise to us was that for all of these patterns, there are only a handful of genes involved," said Krzysztof Kozak, post-doctoral fellow in Gamboa.

The names of the genes can be confusing: There's *optix*, also known as 'the paintbrush gene' that codes for red wing patterns across a wide variety of *Heliconius*. Another gene called *homothorax* may switch *optix* on and off in a patch at the base of the forewing, determining whether that patch is red or black. And then there's *wntA*, a gene found in life-forms from sea anemones to leeches. It turns whole patterns of wing development on and off.

In 2017, a group led by Anyi Mazo-Vargas at Cornell University and Arnaud Martin, former STRI post-doctoral fellow, now on the faculty at George Washington University, used a relatively new technique called CRISPR to "knock out" or "silence" the *wntA* gene in seven different butterfly species. The results varied for each species, indicating that this gene is fundamental when it comes to determining wing color and pattern. "It's extraordinary that it works so broadly," McMillan told the Washington Post. The Post also quoted Carolina Concha, who was responsible for knocking out the gene in *Heliconius* butterflies in Gamboa: "This study highlights how flexible this regulation is, to be involved in so many different aspects of patterning."

To better understand the role of these regulatory genes, think of the directions for making bread: Combine a liquid with yeast. Add a sweet substance. Let bubble. Add an oil. Add flour. Let rise. Add other ingredients for texture and flavor. Let rise. Bake.

Less than 30 words code for hundreds of different kinds of bread from Polish poppy seed cakes to pretzels. By taking out some of the instructions, the resulting loaves of bread would change, revealing which steps are important

Cómo eliminando genes de control explica la biodiversidad de la mariposa

"Los patrones de alas de mariposa son increíbles", comentó Owen McMillan, científico y decano académico de STRI. McMillan recibe en el insectario de STRI en Gamboa, Panamá, a científicos de alto nivel de media docena de naciones, sus estudiantes y becarios postdoctorales, para comprender mejor las instrucciones -el código genético- detrás de los patrones de color de las alas.

"La mayor sorpresa que recibimos fue que para todos estos patrones, solo hay un puñado de genes involucrados", comentó Krzysztof Kozak, becario postdoctoral en Gamboa.

Los nombres de los genes pueden ser confusos: existe el *optix*, también conocido como "el gen de la brocha" que codifica los patrones del ala roja en una amplia variedad de *Heliconius*. Otro gen llamado *homotórax* puede encender y apagar el *optix* en un parche en la base de las alas delanteras, determinando si ese parche es rojo o negro. Y luego está *wntA*, un gen que se encuentra en muchas formas de vida, desde las anémonas de mar hasta en sanguijuelas. Este enciende y apaga patrones enteros del desarrollo de las alas.

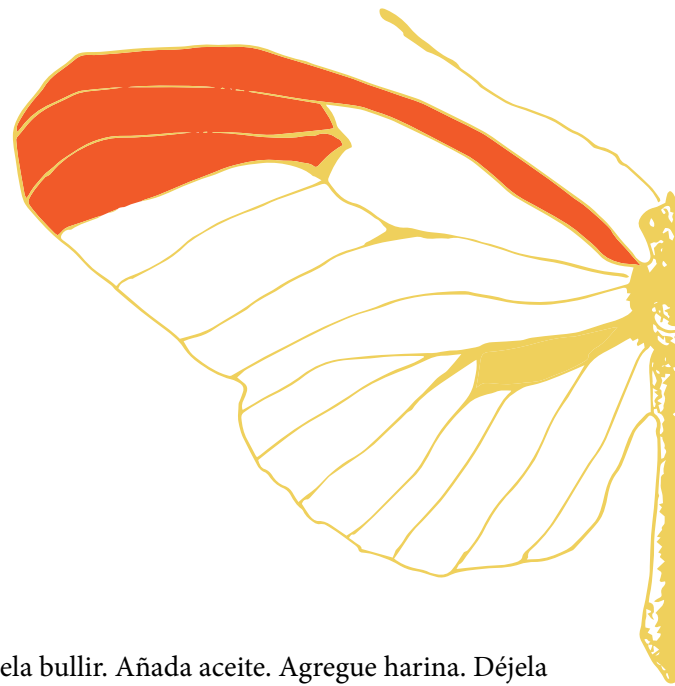
En el 2017, un grupo liderado por Anyi Mazo-Vargas en la Universidad de Cornell y Arnaud Martin, ex becario postdoctoral de STRI, ahora en la facultad de la Universidad de George Washington, utilizó una técnica relativamente nueva llamada CRISPR para "noquear" o "silenciar" El gen *wntA* en siete especies diferentes de mariposas. Los resultados variaron para cada especie, lo que indica que este gen es fundamental a la hora de determinar el color y el patrón del ala. "Es extraordinario que funcione tan ampliamente", comentó McMillan al Washington Post. El Post también citó a Carolina Concha, quien fue la responsable de eliminar el gen en las mariposas *Heliconius* en Gamboa: "Este estudio destaca cuán flexible es esta regulación, de participar en tantos aspectos diferentes de los patrones".

Para comprender mejor el papel de estos genes reguladores, piense en las instrucciones para hacer pan: Combine un líquido con levadura. Añada una sustancia

“The surprise was that for all of these patterns, there are only a handful of genes involved.

La mayor sorpresa para nosotros fue que para todos estos patrones, solo hay un puñado de genes involucrados.”

- Krzysztof Kozak



and why. If you leave out yeast, the loaves would not rise, for example. Leave out the oil and the texture would become more coarse.

In a second-floor lab overlooking the forest at the Smithsonian’s recently inaugurated Gamboa lab, Paola Aguirre, one of the latest crop of interns in the lab is knocking out a gene in *Heliconius* called *cortex*.

Gene silencing appears to be straightforward, explains Paola, but there are lots of complications that pop up during the process. “First, we create a DNA sequence that corresponds to the gene we want to silence, then we inject an enzyme into butterfly eggs designed to cut out just that piece. But when we remove the gene, the cell tries to repair the error in the DNA code by uniting the two cut ends of the strand or by substituting other amino acids. This can introduce errors. When other enzymes try to read the DNA, they get stuck like a zipper gets stuck when some of the teeth are broken, and make mutant copies.”

“And we have to inject the cutting enzyme into butterfly eggs when they are less than two hours old, because the longer we wait, the more the cells inside the egg divide, and we’re not getting the cutting enzyme into all of the cells. So, the gene may be silenced in some cells and not in others, leading to a whole range of different wing patterns in the adults.”

As butterflies develop, they go from egg through five different larval stages before they become a pupa and finally an adult butterfly. “We have to wait as they develop until we can finally see what the butterflies with the silenced genes look like,” says Paola. Less than a quarter of the eggs they inject show patterns resulting from a silenced *cortex* gene.

dulce. Déjela bullir. Añada aceite. Agregue harina. Déjela crecer. Añada otros ingredientes para textura y sabor. Déjela crecer. Hornear.

Menos de 30 palabras son códigos para cientos de diferentes tipos de pan, desde tortas de semilla de amapola polacas hasta pretzels. Al eliminar algunas de las instrucciones, las barras de pan resultantes cambiarían, revelando qué pasos son importantes y por qué. Si dejas fuera la levadura, los panes no se levantarían, por ejemplo. Dejamos fuera el aceite y la textura sería más áspera.

En el segundo piso, con vista al bosque en el recientemente inaugurado laboratorio del Smithsonian en Gamboa, Paola Aguirre, una de las últimas cosechas de pasantes en el laboratorio está destruyendo un gen en *Heliconius* llamado *córtex*.

El silenciamiento de genes parece ser sencillo, explica Paola, pero hay muchas complicaciones que aparecen durante el proceso. “Primero, creamos una secuencia de ADN que corresponde al gen que queremos silenciar, luego inyectamos una enzima en los huevos de mariposa diseñados para cortar esa pieza. Pero cuando eliminamos el gen, la célula intenta reparar el error en el código del ADN uniendo los dos extremos cortados de la cadena o sustituyendo otros aminoácidos. Esto puede introducir errores. Cuando otras enzimas intentan leer el ADN, se atascan como cuando una cremallera se atasca al romperse algunos de los dientes y como resultado crean copias mutantes”.

“Y tenemos que inyectar la enzima de corte en los huevos de mariposa cuando tienen menos de dos horas de vida, porque cuanto más esperemos, más se dividen



These still unavoidable mistakes explain why the scientific community was so upset by a Chinese scientist who claimed that he had used CRISPR to cure disease in humans. There are a lot of details that need to be worked out before “playing God” becomes commonplace.

The advantage of using genetics to change butterfly wing patterns and colors in Panama, is that researchers can immediately take the butterflies out to an outdoor insectary, where they find out how wing characteristics change the butterflies’ choice of mates and their attractiveness to predators—some of the natural forces that help to explain why they evolved so many color patterns in the first place.

Photos of Paola’s butterflies with the silent *cortex* gene look like paintings from a contemporary art exhibit. Their wing scales are deformed—curved in at the edges—and lack the black melanin pigment, leaving a yellowish background color.

What started with questions about why butterflies from the slopes and foothills of the Andes look quite different, is now poised to answer much more basic questions about how new species evolve across the animal kingdom. T

las células dentro del huevo, y no estamos obteniendo la enzima de corte en todas las células. Por lo tanto, el gen puede ser silenciado en algunas células y no en otras, lo que lleva a una gran variedad de patrones de alas diferentes en los adultos".

A medida que las mariposas se desarrollan, pasan del huevo a cinco etapas larvales distintas antes de convertirse en pupa y finalmente en una mariposa adulta. "Tenemos que esperar a que se desarrollen hasta que finalmente podamos ver cómo se ven las mariposas con los genes silenciados", comentó Paola. Menos de un cuarto de los huevos que inyectan, muestran patrones resultantes de un gen de la corteza silenciado.

Estos errores aún inevitables explican por qué la comunidad científica estaba tan molesta con un científico chino que afirmó que había usado CRISPR para curar enfermedades en humanos. Hay muchos detalles que deben resolverse antes de que "jugar a Dios" se convierta en algo común.

La ventaja de usar la genética para cambiar los patrones y colores de las alas de mariposa en Panamá, es que los investigadores pueden llevar de inmediato las mariposas a un insectario al aire libre, donde descubren cómo las características de las alas cambian la elección de las parejas de mariposas y su atractivo para los depredadores—algunas de las fuerzas naturales que ayudan a explicar por qué evolucionaron tantos patrones de color en primer lugar.

Las fotos de las mariposas de Paola con el gen *córtex* silenciado, parecen pinturas de una exhibición de arte contemporáneo. Las escamas de sus alas están deformadas, curvadas en los bordes, y carecen del pigmento negro de melanina, dejando un color de fondo amarillento.

Lo que inició con interrogantes sobre por qué las mariposas de las laderas y faldas de los Andes se ven muy diferentes, ahora está preparado para responder preguntas mucho más básicas sobre cómo evolucionan las nuevas especies en todo el reino animal. T



1. Paola Aguirre, Intern | becaria. Photo by | Foto por: Jeremy Starn. 2. Luca Livraghi. Photo by | Foto por: Andrew Walmsley.
3. Carolina Concha, postdoctoral fellow | becaria post doctoral. 4. Monica Monllor. Photo by | Foto por: Irene Méndez Cruz.



5. Krzysztof "Chris" Kozak, post-doctoral fellow | becario de post doctorado. Photo by | Foto por: Irene Méndez Cruz. 6. *Dryas iulia* and *Heliconius sara* feeding on "hot lips" flowers (*Psychotria* sp.) | *Dryas iulia* y *Heliconius sara* alimentándose de flores "labios ardientes" (hotlips, *Psychotria* sp.) Photo by | Foto por: Sebastián Mena.



Owen McMillan reflects on color, pattern and biodiversity evolution

Owen McMillan reflexiona sobre el color, el patrón y la evolución de la biodiversidad

Now STRI's academic dean and one of the key scientific collaborators on an international team to understand butterfly wing patterns, Owen began his career studying color and speciation in reef fishes.

At around sunrise every morning, I am reminded how lucky I am to call Panama my home. This is when the “daytime” tropics comes alive, when bright colors begin to flash against a verdant background. I have always been interested in the colors and patterns that distinguish species and forms. These differences have traditionally been used by taxonomists to tell species apart; however, to me, these patterns represent more than just a means to sort organisms. They represent an unparalleled opportunity to begin to unravel how the diversity of life on our planet originates.

At the most basic level, the vast diversity in forms reflects the ways animals and plants solve problems to survive and reproduce. The bright color patterns of butterflies, beetles, birds and fishes that most of us picture when we imagine a tropical forest or coral reef have mostly evolved as elaborate signals to potential mates or potential predators and often both. Of course, if you look closely when you are in a forest or on a coral reef, you will notice plenty of patterns that blend in perfectly with the background, camouflaging the organism from all but the most savvy of predators. And even closer inspection reveals organisms that mimic other organisms to either gain protection or to sneak up on their prey. Some of my personal favorites are leaf-mimicking butterflies, wasp-mimicking flies and beetle-mimicking ants (see sidebar)!

Ahora como decano académico de STRI y uno de los colaboradores científicos clave en un equipo internacional para entender los patrones de alas de mariposa, Owen inició su carrera estudiando el color y la especiación en peces de arrecife.

Cada mañana al amanecer me recuerdo la suerte que tengo de llamar a Panamá mi hogar. Es cuando los trópicos “diurnos” cobran vida, cuando los colores brillantes comienzan a destellar sobre un fondo verde. Siempre me han interesado los colores y los patrones que distinguen las especies y las formas. Tradicionalmente, los taxónomos han utilizado estas diferencias para diferenciar las especies; sin embargo, para mí, estos patrones representan algo más que un medio para clasificar los organismos. Representan una oportunidad sin precedentes para comenzar a desentrañar cómo se origina la diversidad de la vida en nuestro planeta.

En el nivel más básico, la gran diversidad de formas refleja las formas en que los animales y las plantas resuelven los problemas para sobrevivir y reproducirse. Los patrones de colores brillantes de las mariposas, escarabajos, aves y peces que la mayoría de nosotros creamos cuando imaginamos un bosque tropical o un arrecife de coral, han evolucionado principalmente como señales elaboradas para parejas potenciales o depredadores potenciales y, a menudo, para ambos. Por supuesto, si te fijas bien cuando estás en un bosque o en un arrecife de coral, notarás varios patrones que se mezclan perfectamente con el fondo, camuflando el organismo de todos los depredadores, excepto los más



Owen McMillan hosts researchers from around the world at STRI's insectaries in Gamboa, Panama. | Owen McMillan recibe a investigadores de todo el mundo en los insectarios de STRI en Gamboa, Panamá. Photo by | Foto por: Sean Mattson

I have now spent the better part of 20 years working on wing pattern formation in a group of brightly colored butterflies renowned for their extraordinary ability to mimic others. These butterflies are in the genus *Heliconius*. As caterpillars, they feed on passionfruit vines— which have beautiful flowers, but whose leaves are filled with cyanide. *Heliconius* have evolved the ability to survive this toxic cocktail and can actually store the cyanide (and even synthesize it themselves). As a result, the adults taste terrible and their bright wing patterns are highly effective advertising, signaling to potential predators “do not eat me.” This advertising is so effective that across the new world tropics up to a dozen different butterfly species, and even some day-flying moths, have evolved nearly identical wing patterns, providing a vivid example of evolution by natural selection.

What first attracted me to *Heliconius* when I was a graduate student was not just the mimicry between species, but how these mimetic patterns changed rapidly across the neotropics as if, in the words of the 19th century British Naturalist, Henry Walter Bates, “touched by an enchanter’s wand.” Like Bates, who traveled extensively across the Amazon, I was struck by how you only need to move a few dozen kilometers to see a dramatic change in the wing patterns of many *Heliconius* species. This repeated pattern of wing pattern divergence and convergence

inteligentes. Y una inspección más cercana revela que los organismos que imitan a otros organismos pueden obtener protección o acercarse sigilosamente a sus presas. Algunos de mis favoritos personales son las mariposas que imitan a las hojas, las moscas que imitan a las avispas y las hormigas que imitan a los escarabajos (ver barra lateral).

He pasado la mayor parte de los últimos 20 años investigando la formación de patrones de alas en un grupo de mariposas de colores brillantes, reconocidas por su extraordinaria capacidad para imitar a otros. Estas mariposas están en el género *Heliconius*. Como orugas, se alimentan de enredaderas de la familia Passiflora, que tienen hermosas flores, pero cuyas hojas están llenas de cianuro. *Heliconius* ha desarrollado la capacidad de sobrevivir a este cóctel tóxico y puede almacenar el cianuro (e incluso sintetizarlo por sí misma). Como resultado, los adultos tienen un sabor terrible y sus brillantes patrones de ala es publicidad altamente efectiva que indica a los posibles depredadores “no me coman”. Esta publicidad es tan efectiva que, en los trópicos del nuevo mundo, hasta una docena de especies de mariposas diferentes, e incluso algunas polillas que vuelan en el día, han evolucionado patrones de alas casi idénticos, proporcionando un ejemplo vívido de evolución por selección natural.



Fishing for peacock bass in Lake Gatun, this is a small subset of the many researchers who study *Heliconius* butterflies in Gamboa | Pesca de cíclidos en el lago Gatún, este es un pequeño subconjunto de los muchos investigadores que estudian las mariposas *Heliconius* en Gamboa: Chi-Yun Kuo (post-doctoral fellow | becario postdoctoral, Ludwig-Maximilians-Universitat, Munich), Jerlard Tampus (intern | pasante), James Ogilvie (doctoral student | estudiante de doctorado, Mississippi State University), Elliot Lassiter (visiting herpetologist | herpetólogo visitante), Jessica Foley (intern | pasante), Morgan Oberweiser (intern | pasante), Denise Dalbosco Dell'Aglio (post doctoral fellow | becaria de post doctorado, University of Cambridge, UK), Owen McMillan (STRI staff scientist and Academic Dean | científico y decano académico de STRI), Richard Merrill (principal investigator | investigador principal, Ludwig-Maximilians-Universitat, Munich) Carolina Concha (post-doctoral fellow | becaria postdoctoral), Lina Melo (intern | pasante), Fletcher Young (doctoral student | estudiante de doctorado, University of Cambridge, UK), Edgardo Santiago Rivera (doctoral student | estudiante de doctorado, University of Puerto Rico). Photo by | Foto por: Valerie McMillan

creates a wonderful tapestry to explore how pattern variation was created and modified evolution. Over the years, by coupling emerging technologies with ecological and behavioral research, we have come a long way toward gaining a basic understanding of the underlying mechanism of pattern formation. We produced a genome and used it to identify genes involved in generating pattern variation. More recently, we have established genome editing using a technique called CRISPR-Cas9, which is allowing us, for the first time, to begin to unravel the connections among genes that occur throughout wing development (see article). It is these connections that are ultimately responsible for generating the patterns that are modified by natural selection to produce diversity.


Of course, color signals are only half the equation and it is impossible not to link divergence in pattern with divergence in the sensory systems (eyes and brains) that

Lo primero que me atrajo de las *Heliconius* cuando era un estudiante de post grado no fue solo la mímica entre las especies, sino también cómo estos patrones miméticos cambiaron rápidamente a través de los neotrópicos, como en las palabras del naturalista británico del siglo XIX, Henry Walter Bates, "tocado por una varita mágica". Al igual que Bates, que viajó extensamente a través del Amazonas, me sorprendió la forma en que solo necesitaba moverme unas pocas docenas de kilómetros para ver un cambio dramático en los patrones de las alas de muchas especies de *Heliconius*. Este patrón repetido de la divergencia y convergencia del patrón del ala crea un tapiz maravilloso para explorar cómo se creó la variación del patrón y cómo modificó la evolución. A lo largo de los años, al unir las tecnologías emergentes con la investigación ecológica y conductual, hemos recorrido un largo camino para lograr una comprensión básica



1. Lucie Queste, doctoral student | estudiante de doctorado. Photo by | Foto por: Irene Méndez Cruz.
2. Remi Mauxion, intern. Photo by | Foto por: Sebastián Mena. 3. Oscar Paneso. 4. Sebastián Mena, intern | pasante. Photos by | Fotos por: Irene Méndez Cruz.
5. Larva of *Philaetria dido*, a species closely related to the genus *Heliconius*. | Larva de *Philaetria dido*, una especie cercanamente emparentada con el género *Heliconius*. Photo by | Foto por: Sebastián Mena.

receive and interpret color signals. If you are interested in how color might influence the formation of a new species, as I am, then you need to understand the association of a novel pattern with the preference for that pattern. Without a coupling, it is hard to imagine one species splitting into two. In the same way that we discovered the genes responsible for generating pattern differences among species, we are starting to unravel the genes involved for the preference in those patterns. This is a harder question, because behaviors, particularly those relating mating preference, are much harder to measure than a trait like color and pattern. Nonetheless, we have started to pinpoint regions of the genome that are responsible for preferential mating. Curiously, this work is revealing that one aspect of mating preference, male approach and courting behavior, is predicted by variation in only three regions of the genome. One of these regions is found right on top of the gene that makes a large red patch on the wing. This genetic coupling makes speciation much easier, indeed almost expected!

A scientific career sometimes comes full circle. As a graduate student, I was interested in the role that the vivid colors patterns of many coral reef fish play in speciation. Recently, we have been exploring this question in Hamlets, a group of 18 or so very closely related species found on reefs across the Caribbean and western Atlantic. Species are ecological and genetically very similar but differ dramatically in color pattern. Hamlets are voracious predator, and different hamlet species resemble other non-predatory reef fishes. For example, the butter hamlet looks a lot like the four-spot butterfly fish and even swims like it when the two are in close proximity. The idea is that this pattern matching, so called aggressive mimicry, allows the butter hamlet to get closer to unsuspecting prey, mainly small fish and crustaceans, and then attack! As part of the work to understand what makes species different, we assembled its genome and then pinpointed regions that were consistently and strongly different among species. And guess what? The regions that differentiate species contain genes that either play a role in pattern production or in pattern perception! 

del mecanismo subyacente de la formación de patrones. Producimos un genoma y lo usamos para identificar los genes involucrados en la generación de la variación del patrón. Más recientemente, hemos establecido la edición del genoma utilizando una técnica llamada CRISPR-Cas9, que nos permite, por primera vez, comenzar a desentrañar las conexiones entre los genes que se producen a lo largo del desarrollo del ala (ver artículo). Son estas conexiones las que en última instancia son responsables de generar los patrones modificados por la selección natural para producir diversidad.

Por supuesto, las señales de color son solo la mitad de la ecuación y es imposible no vincular la divergencia en el patrón con la divergencia en los sistemas sensoriales (ojos y cerebro) que reciben e interpretan las señales de color. Si está interesado, como lo estoy yo, en cómo el color podría influir en la formación de una nueva especie, entonces necesita comprender la asociación de un patrón nuevo con la preferencia por ese patrón. Sin un acoplamiento, es difícil imaginar que una especie se divida en dos. De la misma manera que descubrimos los genes responsables de generar diferencias de patrones entre las especies, estamos comenzando a desentrañar los genes involucrados para la preferencia en esos patrones. Esta es una interrogante más difícil, porque los comportamientos, particularmente aquellos que relacionan la preferencia de apareamiento, son mucho más difíciles de medir que un rasgo como el color y el patrón. No obstante, hemos comenzado a identificar regiones del genoma que son responsables de las preferencias de apareamiento. Curiosamente, este trabajo está revelando que un aspecto de la preferencia de apareamiento, el enfoque masculino y el comportamiento de cortejo, se predice por la variación en solo tres regiones del genoma. Una de estas regiones se encuentra justo encima del gen que produce una gran mancha roja en el ala. ¡Este acoplamiento genético hace mucho más fácil la especiación, de hecho, es casi se esperado!

Una carrera científica a veces completa el círculo. Como estudiante de post grado, me interesó el papel que desempeñan en la especiación los vívidos patrones de colores de muchos peces de arrecife de coral. Recientemente, hemos estado explorando esta pregunta en la familia Serranidae, un grupo de aproximadamente 18 especies muy estrechamente relacionadas que se encuentran en los arrecifes del Caribe y el Atlántico



6. Adult (left) and pupa (right) of *Heliconius erato* | Adulto (izq) y pupa (der) de *Heliconius erato*. 7. Two *Heliconius hewitsonii* being born | Dos *Heliconius hewitsonii* naciendo. Photos by | Fotos por: Sebastián Mena.

occidental. Las especies son ecológicas y genéticamente muy similares, pero difieren dramáticamente en el patrón de color. Los Serranidae son depredadores voraces, y diferentes especies de Serranidae se parecen a otros peces de arrecife que no son depredadores. Por ejemplo, el *Hypoplectrus unicolor* se parece mucho al *Chaetodon quadrimaculatus* e incluso nada como éste cuando los dos están muy cerca. La idea es que esta combinación de patrones, llamada mimica agresiva, permite que el *Hypoplectrus unicolor* se acerque a presas desprevenidas, principalmente peces pequeños y crustáceos, ¡y luego ataque! Como parte del trabajo para comprender qué hace a las especies diferentes, ensamblamos su genoma y luego localizamos regiones que eran consistentemente y muy distintas entre las especies. ¿Y adivinen qué? ¡Las regiones que diferencian las especies contienen genes que desempeñan un papel en la producción de patrones o en la percepción de patrones! T



MOSAIC

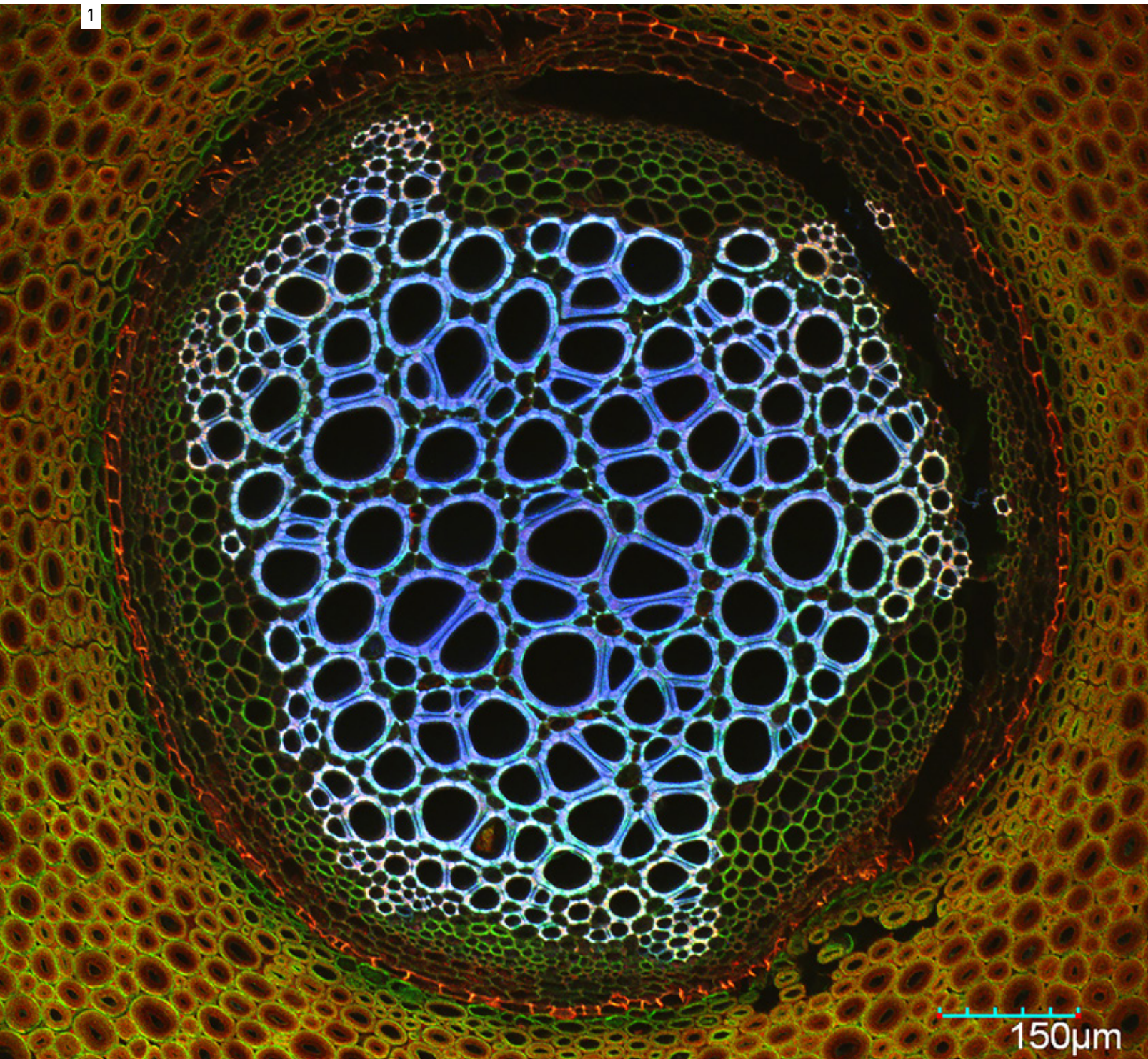
MOSAICO

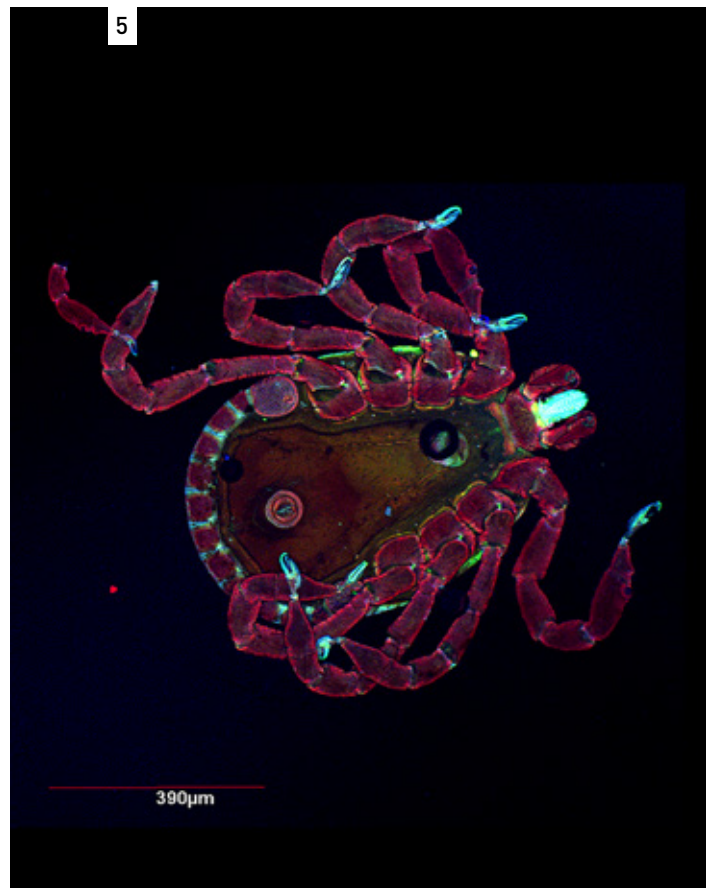
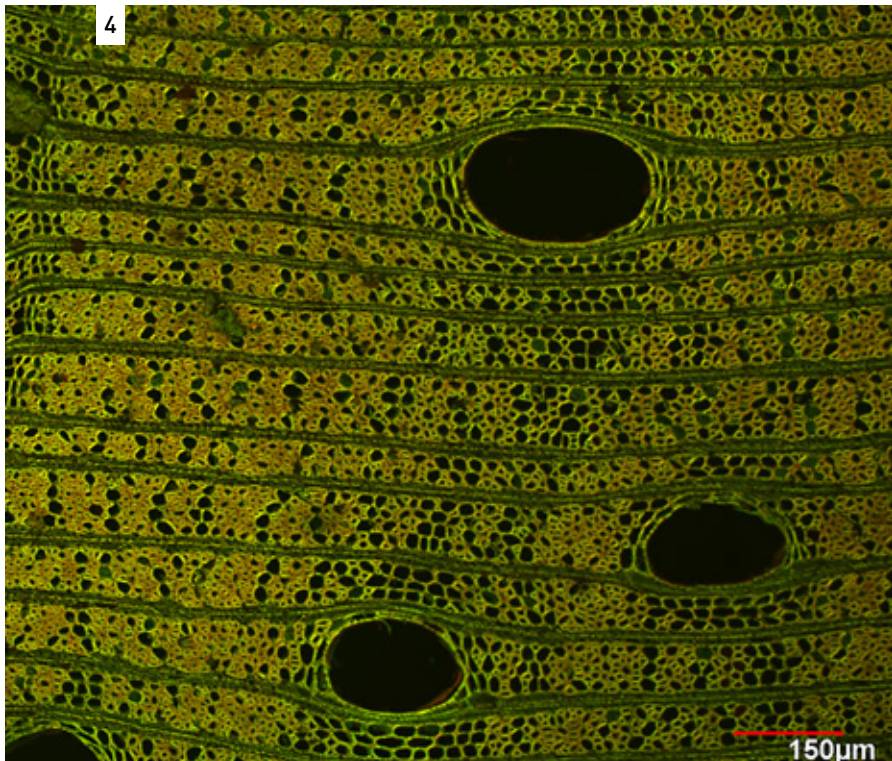
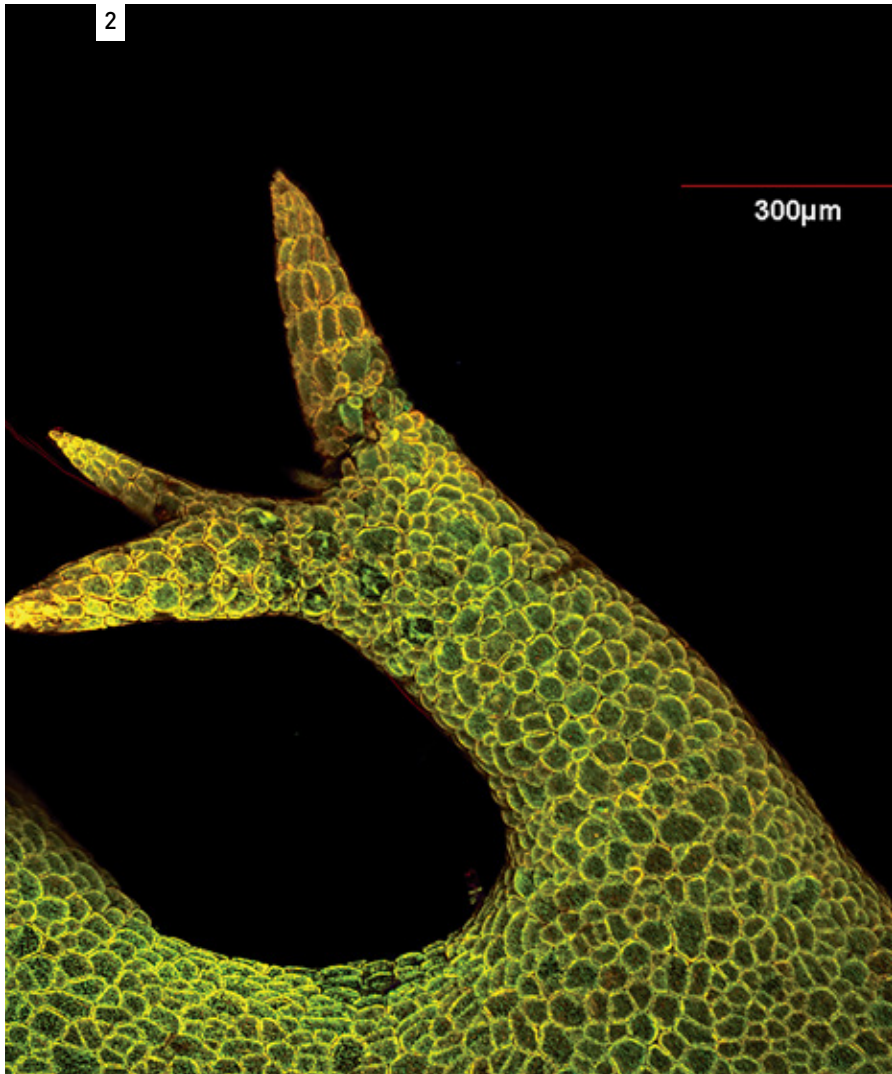
Discovering our colorful microverse:

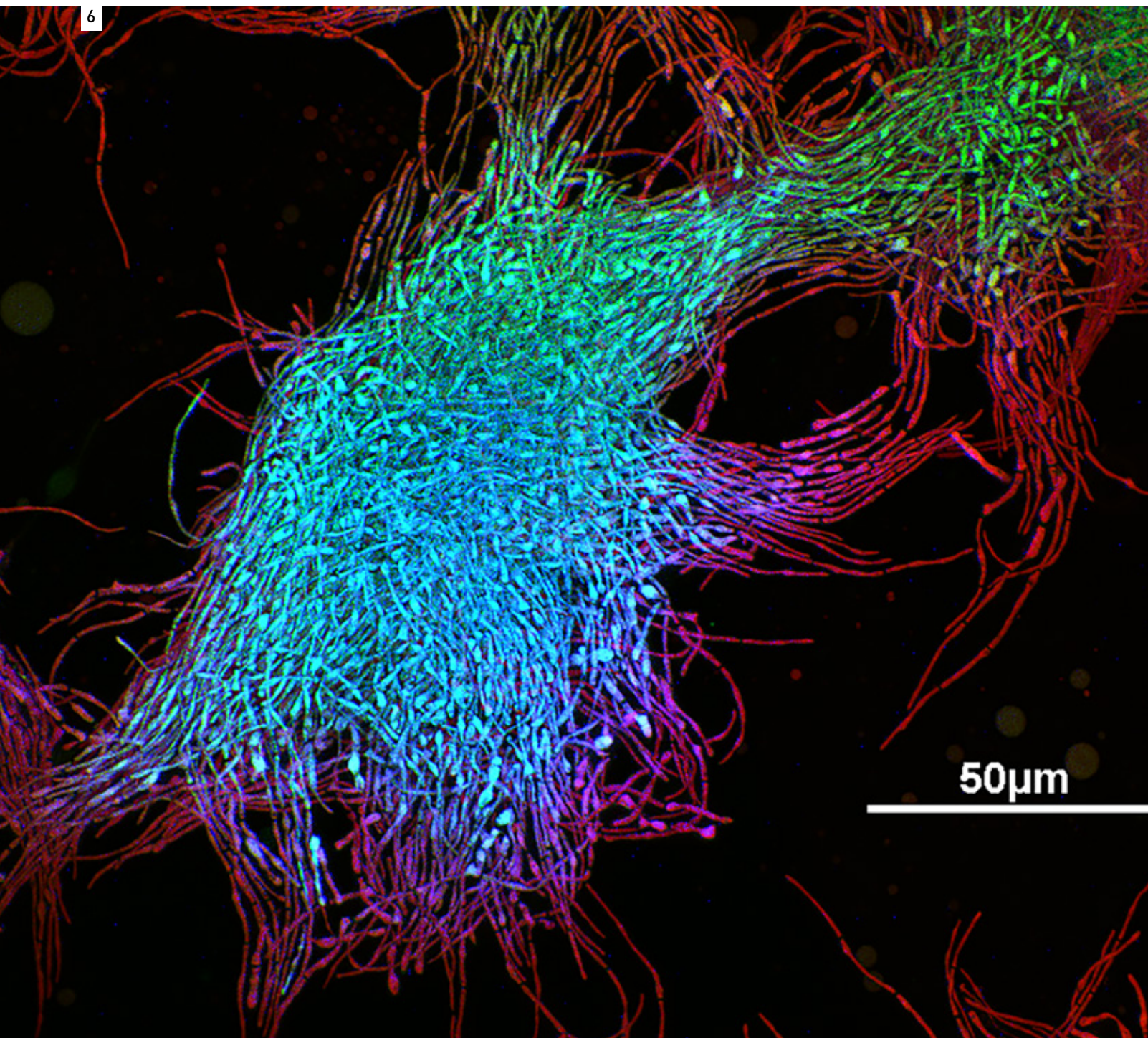
The following gallery of photos taken by electron microscope technician, Jorge Ceballos, highlights the range of studies by staff and visiting scientists who explore the tropics on a very fine scale using STRI's electron and confocal microscopes.

Descubriendo nuestro colorido microverso:

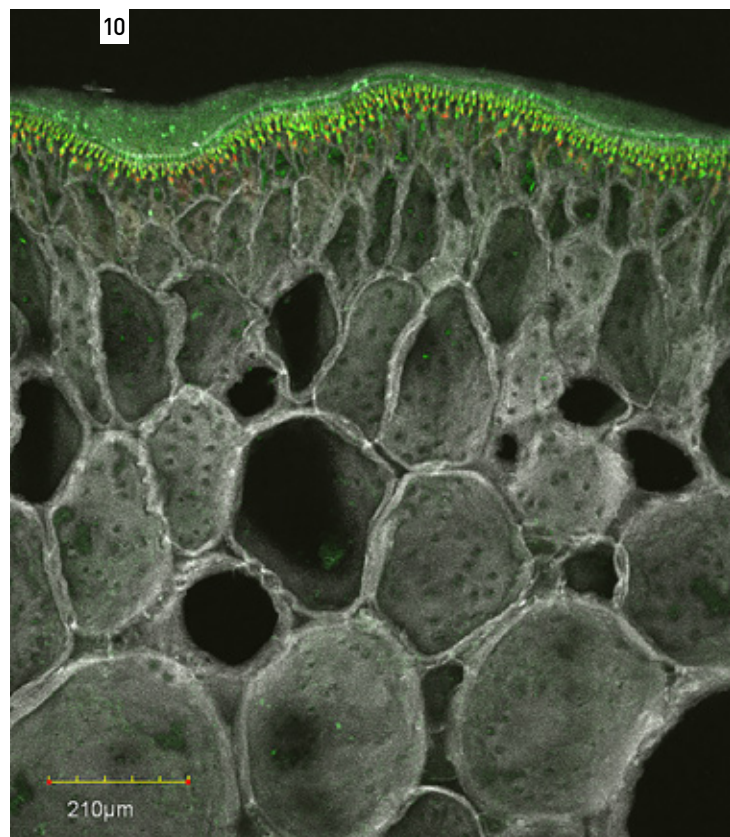
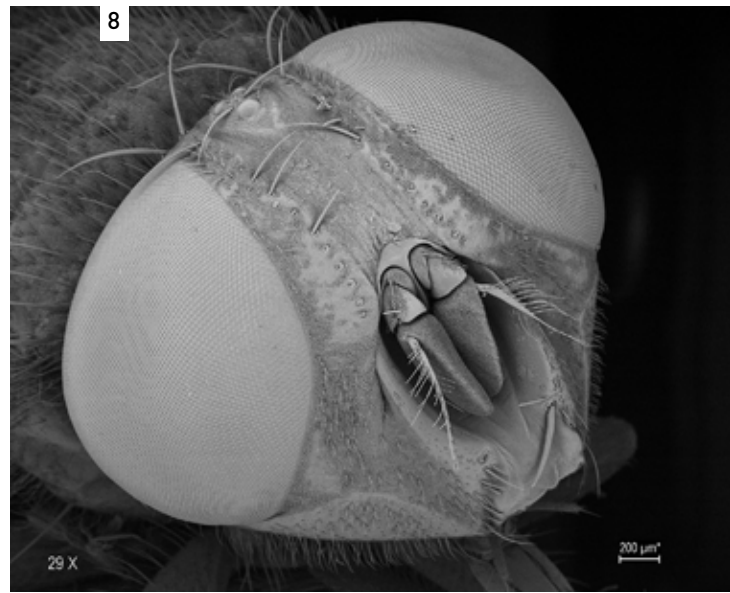
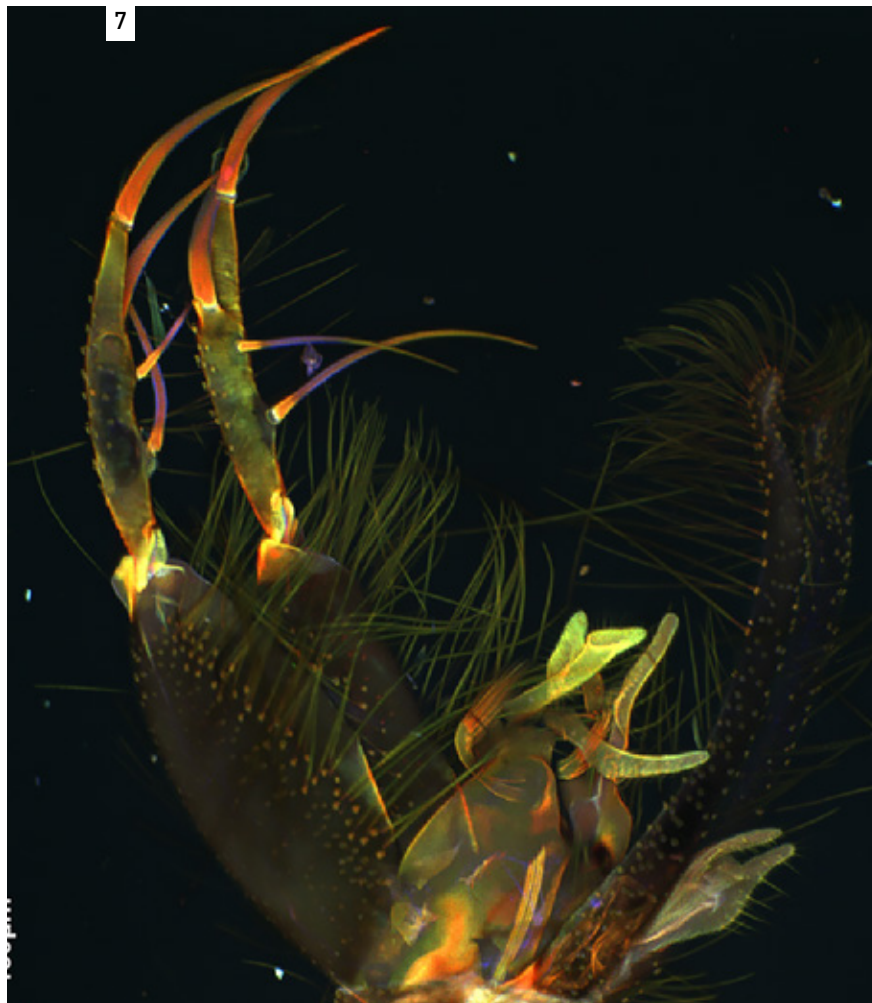
La siguiente galería de fotos tomadas por el técnico en microscopía electrónica, Jorge Ceballos, destaca el rango de estudios realizados por el personal y los científicos visitantes que exploran los trópicos en una escala muy fina utilizando los microscopios electrónicos y confocales de STRI.







1. Autofluorescence. Fern frond, transversal section. Note the parenchyma and vascular tissue. Photo taken with a laser scanning confocal microscope. | Autofluorescencia. Corte transversal de una fronda de helecho, donde se observa parénquima y haces vasculares. Fotografía tomada mediante Microscopía Confocal de Barrido Laser. Photo by | Foto por: Dra. Mirka Jones / Jorge Ceballos
2. Autofluorescence at the apex of a cultivated marine alga (3D image). | Autofluorescencia en ápice de alga marina cultivada (imagen 3D). Fotografía tomada mediante Microscopía Confocal de Barrido Laser. Photo by | Foto por: J. Ceballos / Gloria Batista.
3. Fluorescence of a gamete inside a phyllode, *Calymperes palisotii* Schwägr. Photo taken with a laser scanning confocal microscope. | Fluorescencia de Gemas en filoides de *Calymperes palisotii* Schwägr. (estructuras reproductivas de musgos) fotografía obtenida mediante Microscopía Confocal de Barrido Laser. Photo by | Foto por: J. Ceballos A.
4. Autofluorescence of a transversal section of the vascular system of *Dalbergia*, a timber tree species. | Autofluorescencia en un corte transversal del sistema vascular de *Dalbergia spp* una especie de árbol maderable. Photo by | Foto por: J. Ceballos A.
5. An adult tick (*Amblyoma sp*). The color is obtained via autofluorescence of the cuticle of the sample as seen through a laser scanning confocal microscope. | Vista general de un adulto de *Amblyoma sp* (garrapata). El color en la imagen es obtenido mediante autofluorescencia producida por la cutícula del ejemplar usando Microscopía Confocal de Barrido Laser. Photo by | Foto por: Jorge Herrera y Jorge Ceballos A.



6. 3D reconstruction of hyphae, conidiophores and conidios of fungi in plants with a laser scanning confocal microscope. | Reconstrucción 3D de hifas, conidióforos y conidios de hongos en plantas, utilizando la técnica de Microscopía Confocal de Barrido Laser. Photo by | Foto por: J. Ceballos A. 7. Male genitalia of *Lutzomyia triramula*, a sand fly, observed through a laser scanning confocal microscope. | Genitalia masculina de *Lutzomyia triramula*, una chitira, observada mediante Microscopía Confocal de Barrido Laser. Photo by | Foto por: Larissa Dutari y J. Ceballos A. 8. Frontal view: head of a screw worm fly, *Cochliomyia hominivorax*. Scanning electron microscope. | Vista frontal de la cabeza de un individuo adulto de la mosca del gusano barrenador, *Cochliomyia hominivorax*. Microscopía electrónica de barrido. Photo by | Foto por: Daniel Fernando Paulo y J. Ceballos A. 9. Indusium, sori and spores (reproductive structures) of an ornamental fern. Laser-scanning confocal microscope. | Indusio, soros y esporas (estructuras reproductivas) en helecho ornamental. Microscopía electrónica de barrido. Photo by | Foto por: J. Ceballos A. 10. 3D image of a cultivated algae. | Imagen 3 D de alga marina cultivada. Photo by | Foto por: J. Ceballos A./Gloria Batista.



Emergence Emergencies

Most fish are very nearsighted when they leave the water, but Jeffrey Graham and Richard Rosenblatt discovered that a mudskipper (*Mnierpes microcephalus*) venturing out of the Pacific onto the shoreline can see on land because its cornea has two flattened surfaces (1970, *Science*).

Emergencias emergentes

La mayoría de los peces son muy cortos de vista cuando salen del agua, pero Jeffrey Graham y Richard Rosenblatt descubrieron que un *Mnierpes microcephalus* que se aventuraba fuera del Pacífico hacia la costa puede ver en tierra porque su córnea tiene dos superficies planas (1970, *Science*). In the photo | En la foto: Jeffrey Graham, Ira Rubinoff, Madeleine Jacobs, Anibal Velarde / doi:10.1126/science.168.3931.586



Culture colors

One of the great pre-Columbian cultures in Panama, the Gran Coclé is defined, in part, by its evolving pottery styles. From its beginnings, around 4500 years ago until the Spanish conquistadors arrived in the middle of the 16th Century, the use of color became more and more sophisticated, as exemplified by these pottery fragments from Cerro Juan Díaz. See Cooke, R.C. 2011 *The Gilcrease Collection and Gran Coclé*.

Los colores de una cultura

Una de las grandes culturas precolombinas de Panamá, el Gran Coclé se define, en parte, por la evolución de sus estilos de cerámica. Desde sus inicios, hace unos 4500 años, hasta que los conquistadores españoles llegaron a mediados del siglo XVI, el uso del color se hizo cada vez más sofisticado, como lo demuestran estos fragmentos de cerámica del Cerro Juan Díaz. Ver: Cooke, R.C. 2011 *The Gilcrease Collection and Gran Coclé*.



Pink Floyd Shrimp, *Synalpheus pinkfloydi*

Well before the Panama land bridge connecting North and South America was complete, the nascent Isthmus divided one ocean into two. Snapping shrimp were separated into groups adapting to the cooler, nutrient-rich waters of the Pacific and the warmer, nutrient-poor Caribbean. They eventually became "sister species" (see refs by Morrison, Knowlton, Anker and others). Color patterns, like the glowing pink-red claw of *Synalpheus pinkfloydi*, a Pacific species, help researchers to tell them apart (Anker, A. et al., 2017, *Zootaxa*).

Camarón Pink Floyd, *Synalpheus pinkfloydi*

Mucho antes de que estuviera completo el puente terrestre de Panamá que unió al norte y el sur de América, el naciente istmo dividió un océano en dos. Una especie de camarones se separaron en grupos que se adaptaron a las aguas más frías y ricas en nutrientes del Pacífico y otras al Caribe, más cálido y pobre en nutrientes. Eventualmente se convirtieron en "especies hermanas" (ver referencias de Morrison, Knowlton, Anker y otros). Los patrones de color, como la tenaza de color rojo rosado brillante del *Synalpheus pinkfloydi*, una especie del Pacífico, ayudan a los investigadores a distinguirlos (Anker, A. et al., 2017, *Zootaxa*).



The Mask

"To the Amazonian Indians, material reality is a mask, a disguise, that conceals 'true' reality. However, that does not make it a 'less real' reality. Both the material appearance and the spiritual essence are considered real, but while appearance is nothing more than a passive 'wrapping', extraordinary powers are attributed to the essence." (Santos-Granero, 2000, *The Green Eye. Amazonian Cosmovisions*)

Sólo una máscara

"Para los indígenas amazónicos la realidad material es una máscara, un disfraz, que oculta la 'verdadera' realidad. No por ello, sin embargo, es una realidad 'menos real'. Tanto la apariencia material como la esencia espiritual son consideradas reales, pero mientras que la apariencia no es más que un 'envoltorio' pasivo, a la esencia se le atribuyen poderes extraordinarios." (Santos-Granero, 2000, *El Ojo Verde. Cosmovisiones Amazónicas*).

Photo by | Foto por: Billy Hare & Roberto Huarcaya



Brittlestar | Ofiura, *Ophiocoma wendtii*. Credit | Crédito: Lauren Sumner-Rooney

Seeing without eyes

How do brittlestars living in coral reefs detect day and night and seek shelter when exposed, all without any eyes? This mystery was solved when a team led by Lauren Sumner-Rooney from Oxford University Museum of Natural History with colleagues from the Museum für Naturkunde in Berlin and Queen's University Belfast discovered that brittlestars at STRI's Bocas del Toro Research Station have light sensitive cells imbedded in the skin covering their whole bodies! <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2590>

Viendo sin ojos

¿Cómo las ofiuras que viven en los arrecifes de coral detectan el día y la noche y buscan refugio cuando están expuestas, sin ojos? Este misterio se resolvió cuando un equipo dirigido por Lauren Sumner-Rooney del Museo de Historia Natural de la Universidad de Oxford junto a colegas del Museum für Naturkunde en Berlín y la Queen's University en Belfast descubrió que las estrellas de la Estación de Investigación de Bocas del Toro de STRI tienen células sensibles a la luz incrustadas en su piel ¡cubriendo todo su cuerpo! <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2590>




Frog changes color

Vicente's Poison Frog (*Oophaga vicente*) turned from green to yellow when threatened and recovered its original color about 10 hours later. According to the authors, this is the first report of recovery from color change in a Dendrobatid frog (Flores E.E. et al. 2017). Treefrog tadpoles also change color in the presence of a predator (Touchon and Warkentin, 2008).

Rana que cambia de color

La rana venenosa de Vicente (*Oophaga vicente*) cambió de verde a amarilla cuando se sintió amenazada y recuperó su color original unas 10 horas después. Según los autores, este es el primer informe sobre la recuperación del cambio de color en una rana Dendrobatidae (Flores E.E. et al. 2017). Los renacuajos de ranas arbóreas también cambian de color en presencia de un depredador (Touchon y Warkentin, 2008).



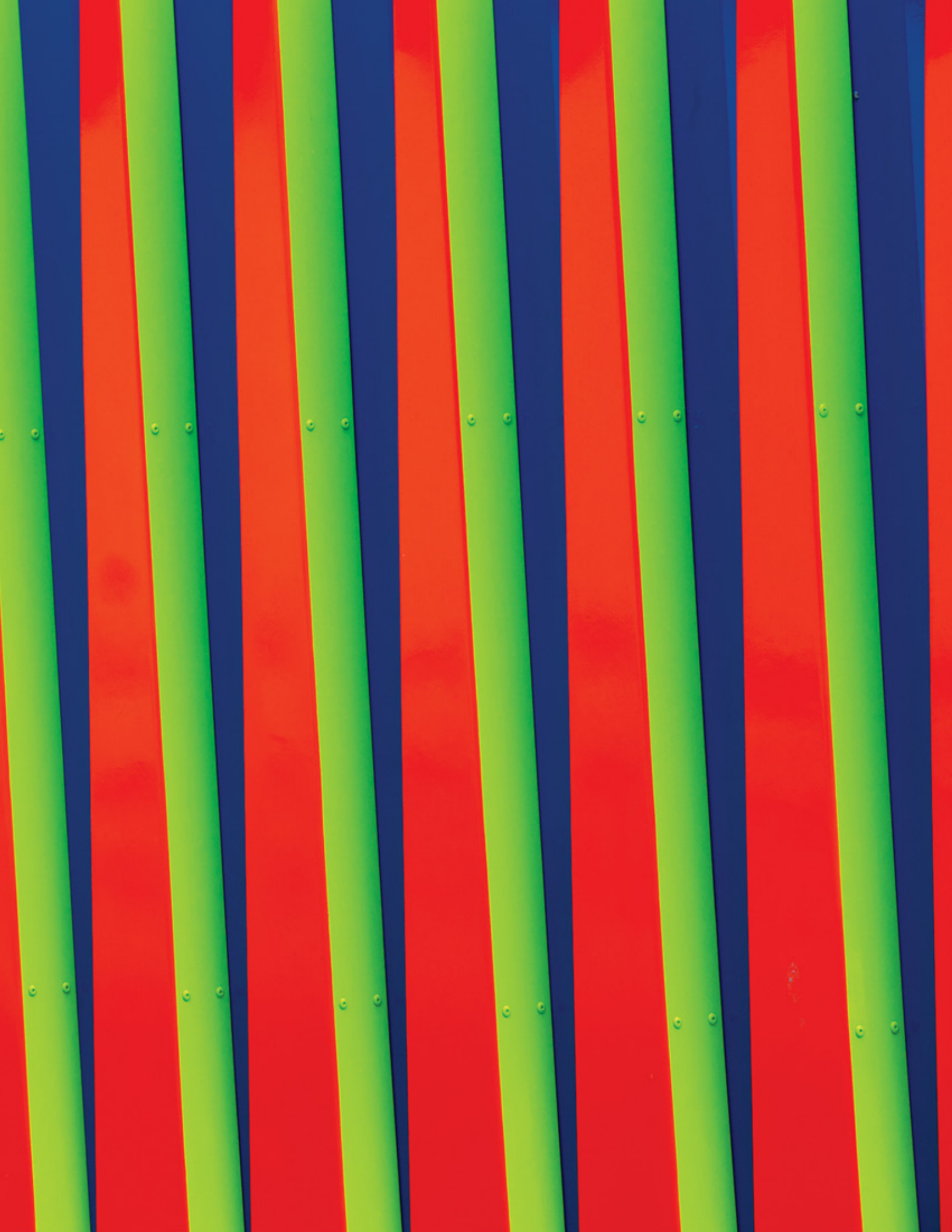
“I want people to discover that colour is not a certainty, but a circumstance, which changes from [one] instant to another because it’s an ephemeral reality, autonomous and evolutionary.

Quiero que la gente descubra que el color no es una certeza, sino una circunstancia que cambia de un instante a otro porque es una realidad efímera, autónoma y evolutiva”

- Carlos Cruz-Diez

From an interview with Emilie Yabut-Razon published in the Hong Kong Tattler | De una entrevista con Emilie Yabut-Razon publicada en el Hong Kong Tattler

Photo by | Foto por: Jorge Alemán, STRI





Smithsonian
Tropical Research Institute

Read more issues of TRÓPICOS at | Lea más ediciones de TRÓPICOS en
stri.si.edu/sites/tropicos